1944

КНИГА ДЛЯ ЧТЕНИЯ ПО ХИМИИ

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ГА
ИЯ
ИИ

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ
АКАДЕМИИ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ НАУК РСФСР

КНИГА ДЛЯ ЧТЕНИЯ
ПО
ХИМИИ

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

СОСТАВИЛИ
К. Я. ПАРМЕНОВ и Л. М. СМОРГОНСКИЙ

ИЗДАНИЕ 2-е, ПЕРЕРАБОТАННОЕ

Утверждено
Министерством просвещения РСФСР

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УЧЕБНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ПРОСВЕЩЕНИЯ РСФСР
Москва 1955

КНИГА ДЛЯ ЧТЕНИЯ ПО ХИМИИ

Редактор *Г. В. Дмитриенко.* Обложка художника *М. П. Митурича.*
Художественный редактор *М. Л. Фрам.* Технический редактор *М. Д. Петрова.*

Сдано в набор 10 III 1955 г. Подписано к печати 30 IX 1955 г.
$60\times92^{1}/_{16}$. Печ. л. 30. Уч. изд. л. 31,38. Тираж 50.000 экз. А05517.

Учпедгиз. Москва, Чистые пруды, 6.
Типография № 2 «Советская Латвия» Латгланиздата, г. Рига, ул. Дзирнаву, 57.
Заказ № 5989.

Цена без переплёта 8 р. 45 к., переплёт 80 к.

1244

ПРЕДИСЛОВИЕ К 1-му ИЗДАНИЮ

«Книга для чтения по химии» предназначается главным образом для учащихся средней школы.

Потребность в такого рода издании назрела давно. Учителя химии и в частных беседах, и в письмах, и на методических конференциях неоднократно высказывали пожелания о том, чтобы учащимся был дан доступный дополнительный материал по химии для самостоятельного чтения. Изданная в 1929 г. «Химическая хрестоматия» под редакцией проф. В. Н. Верховского в настоящее время является библиографической редкостью и, кроме того, обнимает очень небольшой круг вопросов. Наша научно-популярная литература по химии чрезвычайно бедна и по тематике, и по количеству названий, и к тому же она выпускается столь ничтожным тиражом, что немедленно исчезает с книжного рынка, далеко не удовлетворив всей потребности школы, не говоря уже о запросах отдельных учащихся.

Характер статей в предлагаемой нами хрестоматии довольно разнообразен. Причины этого лежат отчасти в том, что задача подобрать по всему курсу химии отрывки статей, принадлежащих разным авторам, с различной специальностью, характером изложения, подхода к читателю и т. п., статей, которые были бы одинаковы по своей доступности, — эта задача при современном состоянии научно-популярной литературы по химии оказывается совершенно невыполнимой.

Можно было бы встать на другой путь: написать по всем разделам специальные статьи, как это и сделал проф. В. Н. Верховский со своими сотрудниками при составлении упомянутой выше хрестоматии. В этом случае задача разрешалась бы проще: как характер самого изложения, так и доступность материала для читателей можно бы сделать более или менее одинаковыми. Мы не отрицаем полной законности и этого пути, но в то же время сознательно не встали на него: мы стремились дать как можно больше доступных для понимания учащихся отрывков из классических работ по химии или научно-популярной литературы, написанной нередко крупнейшими специалистами или талантливыми популяризаторами. Мы убеждены, что чтение таких статей имеет огромное общеобразовательное и воспитательное значение. С этой точки зрения, наиболее ценными мы считаем те статьи, где авторы сами часто впервые излагают открытые ими закономерности или изобретения (Ломоносов, Лавуазье, Менделеев, Дьюар, Кюри, Содди и др.). В этих случаях учащиеся знакомятся с путями научного творчества и невольно начинают с большим вниманием относиться к научным достижениям. Самые имена великих химиков врезываются в память учащихся и ассоциируются с их великими открытиями. Только в редких случаях, чаще всего в силу необходимости, мы прибегали к пополнению хрестоматии своими статьями или специально составленными для этой цели небольшими очерками.

Хрестоматия рассчитана главным образом на учащихся, заинтересовавшихся химией: их запросы и стремления она и должна удовлетворить в первую очередь. Поэтому в ней помещены статьи, дополняющие и расширяющие материал, данный в учебнике, в трактовке, доступной пониманию учащихся средней школы. Некоторые из подобного рода статей, возможно, потребуют и помощи учителя. Наряду с этими статьями мы не избегали и таких, которые в живой и доступной форме просто разъясняли бы материал учебника.

Хрестоматийный материал в основном расположен в порядке тем современной программы по химии, но степень доступности и трудности отдельных статей не всегда соответствует развитию учащихся того класса, где эта тема изучается. Составители имели в виду, что и учащиеся старших классов должны чаще заниматься более углублённым повторением изученных вопросов, рассматривая их с новых точек зрения, полученных в результате последующего усвоения химических закономерностей.

В очень редких случаях нам пришлось давать отрывки совсем без изменения. В подавляющем большинстве случаев в статьях приходилось делать купюры, когда материал выходил за пределы доступности, являлся устаревшим или не представлял существенного интереса. Мало распространённые в литературе научные термины мы нередко заменяли на общепринятые. Везде, где встречалась старая русская система мер или меры иностранные, но мало принятые в науке (например, английские), мы переводили их в метрические. Устаревшая терминология, вроде «углекислота», вместо «углекислый газ» или «перекись марганца», вместо «двуокись марганца», также везде нами изменена. Но номенклатуру солей в подавляющем большинстве случаев мы преднамеренно оставили такую же, как и в подлинниках, а не привели её в соответствие с принятой в учебнике, считая, что учащиеся при современном положении должны неизбежно овладеть всеми видами принятой в настоящее время номенклатуры, пока не будет установлена унифицированная номенклатура. Отсутствие навыков в пользовании различной номенклатурой поведёт к тому, что учащиеся не в состоянии будут читать научно-популярные книги с номенклатурой, отличной от учебника.

Первая часть «Книги для чтения по химии» обнимает содержание программ об основных химических понятиях и неметаллах и заканчивается вопросами классификации элементов и строения атома. Во второй части имеется в виду дать материал по металлам и органической химии со включением вопросов о растворах и теории электролитической диссоциации.

На данную книгу нельзя смотреть, как на учебник, и предъявлять к ней такие же требования, как к учебнику, например, в отношении охвата всех вопросов существующей программы или строгой связи между отдельными частями. В хрестоматии даются по наиболее важным вопросам лишь отдельные фрагменты, которые и используются учеником и учителем по мере надобности.

Опыт составления книги для чтения по химии, в задуманном нами плане, явился совершенно новым. Поэтому трудно было, как и во всяком новом деле, избежать различного рода недостатков при её составлении. Мы обращаемся с убедительной просьбой ко всем методистам и учителям-практикам сообщать о всех замеченных недостатках хрестоматии и особенно поделиться опытом по её применению в непосредственной школьной работе. Все критические замечания и пожелания будут приняты с благодарностью и учтены при дальнейшей работе над хрестоматией.

Составители

Москва, 20 января 1947 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ КО 2-му ИЗДАНИЮ

Первое издание книги было очень тепло встречено читателями и разошлось в весьма короткий срок. Судя по многочисленным письмам учителей, эта книга помогла им лучше поставить учебную и внеклассную работу в школе, возбудить и развить у многих учащихся устойчивый интерес к химии как науке.

Второе издание печатается с некоторыми изменениями и дополнениями.

В связи со смертью проф. Л. М. Сморгонского, последовавшей 14 сентября 1952 г., подготовка второго издания хрестоматии выполнена К. Я. Парменовым. При отборе статей для этого издания составитель руководствовался теми же принципами, которые были положены в основу работы над 1-м изданием (см. предисловие). Часть статей заменена по рекомендации читателей, но включение большинства новых статей обусловливается теми задачами, которые встали перед школой в итоге решений XIX съезда КПСС.

К. Парменов

Академик Н. Д. Зелинский

ОВЛАДЕВАЙТЕ ЗНАНИЯМИ

Обращение к молодёжи

Молодой человек моей Родины!

Ты родился, вырос и живёшь в счастливое время — время великих дерзаний и свершений, время Ленина—Сталина, время, когда очертания коммунизма зримо встают перед нами. Ты живёшь в свободном мире, и перед тобой широко раскинулись светлые дороги твоей большой судьбы.

Но большое время налагает и большую ответственность. Будь же достоин своего великого времени!

Я прошёл длинный жизненный путь. Оглядываясь назад, я с внутренним удовлетворением могу отметить, что жизнь моя прожита не бесполезно. В ней было то главное, что придаёт человеческой жизни смысл и содержание: я жил, трудился и творил для Родины, для моего народа. И хоть небольшой, но есть и мой вклад в ту неоценимую сокровищницу материальных ценностей и знаний, которой владеет народ и которую он передаёт будущим поколениям.

В течение долгих десятилетий напряжённого изучения законов природы, десятилетий упорного труда, из книг, из встреч и бесед с другими людьми я по крупице скопил свой жизненный опыт.

И сейчас мне хочется передать тебе — человеку, которому принадлежит будущее, — основное, что, мне кажется, определяет победы в жизни, в науке.

Я знаю, что никакие советы не могут заменить личного опыта, но, может быть, они помогут тебе с меньшей затратой сил добиться успеха, предостерегут от неправильных поступков, от ошибок.

Первое — это настойчиво овладевай всей широтой имеющихся в распоряжении человечества знаний. В решениях XIX съезда нашей партии о политехнизации обучения я с гордостью нахожу выраженную в гениальной форме партийного закона эту мысль.

В нашей стране наука и техника развиваются стремительно, как никогда раньше в истории человечества. Каждый день увеличивает наше могущество над природой, с каждым днём всё новые и новые стихии становятся покорными слугами человека. Управлять этими силами, быть полноценными членами грядущего коммунистического общества смогут только широко образованные люди.

Не замыкайся в узких рамках одной выбранной специальности. Врачу и агроному сегодняшнего дня зачастую не только полезно, но и необходимо, наряду с глубоким знанием своей специальности, иметь минимум знаний и по электротехнике, и по астрономии. Математику и физику очень может помочь в работе знание ботаники и геологических наук. Я уже не говорю о знании общественных наук, которое необходимо для всех без исключения, без которого нельзя представить себе человека нашего времени.

В годы моей юности единственной машиной, с которой имели дело широкие массы людей, были часы. Даже труд на заводе был в основном ручным. А сегодня в твой повседневный быт вошли тысячи машин — трамваи, автомобили, электричество, газ, телефон, радио, телевидение. Число машин, с которыми приходится иметь дело каждому человеку, всё растёт, а сами машины всё усложняются. Скоро в обиход властно войдёт атомная энергия. Бесчисленная армия машин — верных слуг — будет подчиняться только людям широко образованным, много знающим. Тем более много надо знать, чтобы творить новые машины, открывать новое в науке. А это новое очень часто открывается сейчас на стыке, казалось бы, далёких друг от друга наук.

Овладевай всей широтой человеческих знаний, не замыкаясь в одной узкой специальности, — вот первое, что хочу я тебе посоветовать.

Никогда не считай, что ты знаешь всё, что тебе уже больше нечему учиться. Я учился всю жизнь, продолжаю учиться сейчас, буду учиться, пока будет хватать на это моих сил. Помню, с какой страстью я, уже убелённый сединой сарик, изучал в 1938 году только что вышедший «Краткий курс истории ВКП(б)» и как помогли знания, почерпнутые из этой книги, всей моей дальнейшей работе.

Учиться упорно, учиться всегда — вот второе, что я хочу тебе посоветовать.

Умей работать в коллективе. В сегодняшней науке только коллектив может работать по-настоящему плодотворно. Какими бы исключительными способностями ты ни обладал, в одиночку ты не сделаешь в науке больших открытий. Наоборот, коллектив будет всегда как бы резонатором, усилителем твоих идей, так же как и ты — часть этого коллектива — будешь усилителем, резонатором идей, высказанных другими.

Уметь работать в коллективе — это в первую очередь уметь правильно воспринимать критику и не стесняться критиковать ошибки другого, какое бы высокое положение в науке ни занимал критикуемый тобой человек. Недостатки всегда виднее со стороны. Критика предохранит от самоуспокоения, от самонадеянности, от нескромности, она поможет избежать ошибок.

Уметь работать в коллективе — значит быть принципиальным, уметь всегда предпочесть большие интересы коллектива своим личным, какими бы важными ни казались для тебя эти личные интересы. Без умения работать в большом коллективе не может быть учёного.

Общественный строй нашей жизни открывает широчайшие возможности для развития всех твоих способностей. Используй эти возможности. В учёбе, в труде, в науке, в беззаветном служении народу ты найдёшь своё счастье.

ГЛАВА I

У ИСТОКОВ ХИМИИ

> *«...Уже с самого начала возникновение и развитие наук обусловлено производством».*
>
> Ф. Энгельс, Диалектика природы, 1948, стр. 147.)

К. Я. Парменов

ХИМИЯ У КУЛЬТУРНЫХ НАРОДОВ ДРЕВНОСТИ

В какой части земного шара следует искать зарождение первых проблесков химических знаний?

Ответит ли на этот вопрос когда-либо наука утвердительно? Надеяться очень трудно. Причина здесь лежит прежде всего в том, что от времён, когда только что зарождались первые химические знания, не осталось никаких памятников. Вероятно, первые сведения из химии передавались из поколения в поколение устно, да ещё нередко и по секрету.

Первые достоверные сведения о зачатках химии у древних культурных народов учёные стали получать тогда, когда они приступили к изучению немых свидетелей истории этих народов. Немного осталось таких свидетелей, да и не легко было заставить их заговорить. Благодаря, однако, трудам учёных кое-что порассказали нам развалины зданий, случайные предметы домашнего обихода, отрывки письменных заметок, изображения военных походов, религиозных церемоний, картин войны, труда и быта и т. д.

Таких народов, которые оставили после себя памятники культуры глубокой древности, немного. В первую очередь сюда относятся народы Древнего Востока и народы, населявшие берега Средиземного моря: египтяне, финикийцы, евреи, персы, вавилоняне, а затем арабы, греки и римляне. На далёком востоке развивались химические знания у японцев и китайцев, оказавших заметное влияние на культурную жизнь народов Древнего Востока и юга Европы.

Наиболее выдающимися химиками древнего мира являлись, повидимому, отдельные представители египетского народа, по преимуществу из класса жрецов. Они первые привели в некоторую систему случайные наблюдения химических явлений и первые приложили их к своей практической жизни.

Химия у египтян получила высокое по тому времени развитие. Даже самое слово «химия» (chemia), по мнению учёных, появилось в Египте. Древнегреческий писатель Плутарх говорит, что жители Египта, населяющие «чёрную землю» (чернозём), получили прозвище «хемы» (chemi). Есть, правда, и другое объяснение происхождения этого слова; так, например, алхимический писатель IV в. Зосима производит слово химия от Хемеса. Так звали, по мнению Зосимы, легендарного автора первой книги по химии — ангела, изгнанного с неба. Некоторые исследователи считают, что слово химия произошло от греческого слова «хима»: так называлось металлическое литьё.

Какие же химические знания имелись у египтян?

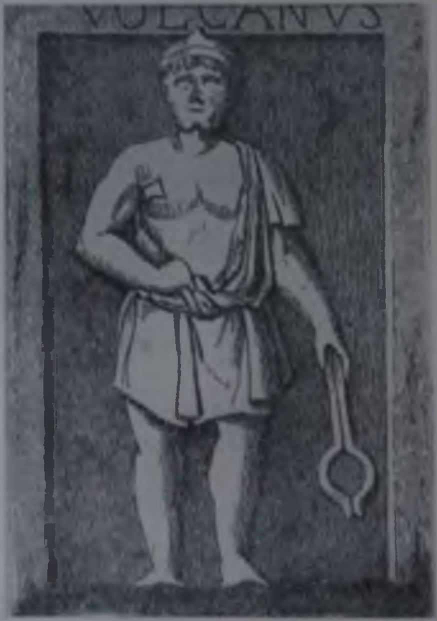


Рис. 1. Вулкан — покровитель кузнецов и химиков.

Первое, что свидетельствует о том, как высоко была развита там химия, — это искусство египтян бальзамировать трупы, составляющее загадку, не раскрытую полностью учёными и до настоящего времени. Несмотря на то, что современные учёные владеют сотнями тысяч естественных и искусственных веществ, они не могут сделать мумию точно так, как это делали во времена фараонов.

Вторая область, где египтяне достигли большого совершенства, — это краски. Да ещё какие краски! Тысячи лет прошли с тех пор, как были окрашены в Египте предметы (свыше четырёх тысяч лет!), а краски и до настоящего времени сохранили свою яркость и прочность. Вот, например, чудеснейшая голубая краска. Приготовляли её в Египте, сплавляя стекло с солями меди и выливая горячий сплав в холодную воду. Получался тончайший порошок очень прочной и красивой краски. Большинство красок, которые употребляли египтяне, были минеральные, но знали они и естественные органические краски. Среди них многие получили ные листы папируса? Что это был за клей, который не дал рассыпаться листам даже по прошествии нескольких тысячелетий?

Египтяне умели выделывать и кожи. А для выделки их нужны дубильные вещества. Если судить по изображениям на памятниках, это была кора различных деревьев.

Из винограда и ячменя в Египте умели приготовлять вина и напиток, напоминающий пиво, а также уксус.

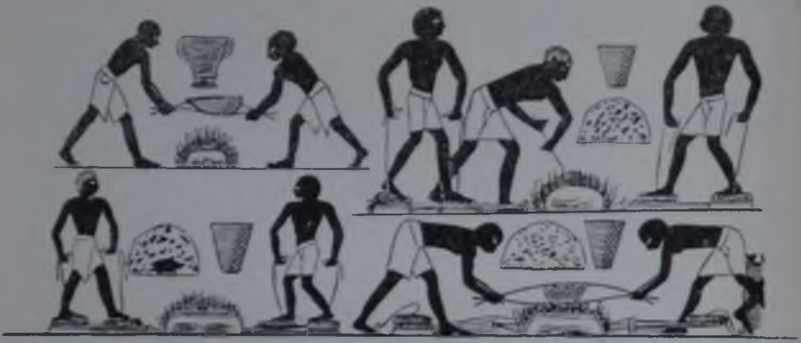


Рис. 5. Обработка золотоносной руды в древнем Египте.

Металлургия не была сильно развита в Египте. Своих руд египтяне имели мало и большинство их должны были привозить из других стран (Индии, Персии). Но египтяне знали большое к тому времени количество металлов: золото, серебро, медь, сурьму, свинец и, позднее, железо. Известны им были и сплавы различных металлов.

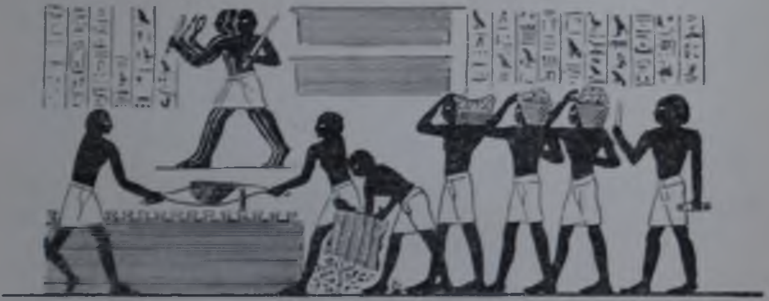


Рис. 6. Отливка бронзовых дверей для храма в Карнаке.

Кроме металлов, египтянам были известны сера, сода, поташ, наждак, известь гашёная и негашёная, алебастр, многие полудрагоценные естественные и искусственные камни, киноварь, мыло, нефть, асфальт и другие вещества.

Конечно, у египтян ещё не было настоящей науки, но нужно сказать, что они имели в отдельных случаях более правильные взгляды на химическую природу веществ, чем даже жившие тысячи лет после них алхимики.

Вся египетская наука, в том числе и зарождающаяся химия, считалась священной. Она была доступна только избранным: занимались ею только жрецы. Наука составляла тайну господствующего класса и охранялась, как выгодный и ценный клад. При раскопках в Египте обнаружено несколько химических лабораторий, соединявшихся непосредственно с храмами. Но всё же некоторым любознательным иностранцам удалось войти в доверие египтян и выведать от них часть тайн египетской науки. Это были греческие мудрецы — Солон, Пифагор, Демокрит, Геродот и Платон. Через них-то Греция и заимствовала от египтян химические знания.

Из Египта распространились знания по другим странам Древнего Востока. Египет был как бы фокусом, в котором собиралась и откуда распространялась культура древнего мира.

Вместе с египтянами наиболее выдающимся народом Древнего Востока нужно считать вавилонян. Они не хуже египтян знали металлы, способы их получения и обработки. Если судить по широко развитому строительному искусству у вавилонян (дворцы, храмы), то они прекрасно знали способы производства строительных материалов, особенно кирпича. Знали они и стекло, терракоту[1], умели производить изделия с инкрустацией по серебру и бронзе.

Из пальмовых плодов вавилоняне умели приготовлять спиртные напитки. Знали они и химические способы обеззараживания воды, не имея, конечно, никаких представлений о бактериях, как возбудителях болезней.

Евреи заимствовали химические знания из Египта и Вавилона. Они знали золото, серебро, олово, медь, свинец и железо, умели окрашивать ткани в голубой, пурпуровый и другие цвета.

Финикияне — эти древние мореплаватели — заимствовали химические познания от тех народов, с которыми поддерживали торговлю. Они же и распространяли эти знания по странам Востока и по берегам Средиземного моря.

Существует легенда, что финикияне изобрели стекло. У римского историка Плиния имеется рассказ о том, как финикийские моряки, вёзшие на своём корабле соду, высадились на берегу одной реки в Палестине. При постройке очага для варки пищи им понадобились камни, но они не могли их найти. Тогда моряки употребили для постройки очага куски соды. Костёр разгорелся и достиг большой силы. Вдруг моряки увидели, что сода расплавилась и вместе с песком образовала прозрачную тягучую массу. Эта масса застыла, и моряки увидели твёрдые прозрачные куски. Так и был открыт способ изготовления стекла. Жители той местности, где останавливались финикияне, усовершенствовали способ получения стекла.

---

[1] Так впоследствии стали называть в Италии обожжённую землю. Художественные изделия из обожжённой неглазурированной глины (статуэтки, вазы и т. п.) получили в древнем мире большое распространение. Особенно такими изделиями в V в. до н. э. славился г. Такабра в Средней Греции (в Беотии).

Так рассказывает легенда. Но вряд ли она правдоподобна: чтобы получить стекло, нужна очень высокая температура. От обычного костра такой температуры получить нельзя. Более вероятно, что финикияне сами заимствовали способ изготовления стёкол у египтян, которые ещё за 4500 лет до н. э. знали стекло.

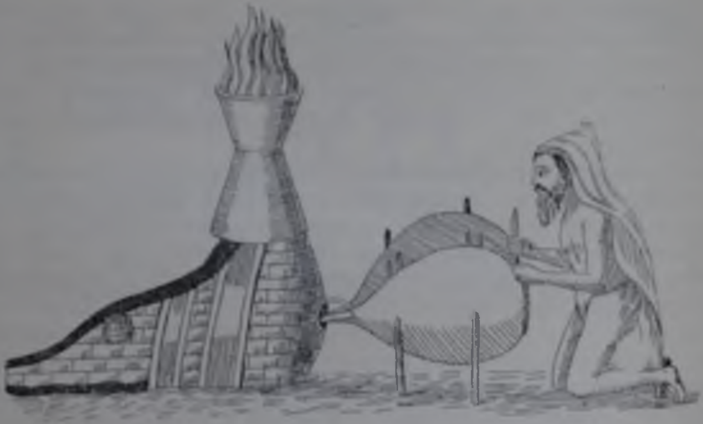


Рис. 7. Печь для выплавки железа у древних персов.

Со всех стран финикияне собирали лучшие краски. Искусство окрашивать ткани из животных и растительных волокон у них стояло очень высоко. Особенно славилась финикийская окраска пурпуром.

Персы, как рассказывает греческий историк Геродот, умели добывать золото, серебро, железо (рис. 7), выделывать шкуры зверей. Искусство окрашивания тканей они переняли у индусов.

Индусы владели значительными химическими знаниями. Знаменитая краска индиговая синь служила им и для живописи, и для окрашивания тканей. Они даже печатали рисунки на тканях. А в Европе этот способ был применён только в XV в.

Химические познания индусов и сейчас вызывают изумление. Особенно высоко стояла металлургическая промышленность. Подтверждением этого является «чудо» металлургического искусства древних — знаменитая Кутубская колонна близ города Дели. Колонна эта высотой в 7 *м* и весит свыше 6 *т*. Точные анализы показали, что она состоит из химически чистого железа.

А такое железо, как известно, совершенно не ржавеет. Исследователи колонны не обнаружили на ней и следа влияния атмосферы. На колонне имеется надпись; по этой надписи можно установить, что она поставлена в IX в. до н. э. С тех пор прошло почти 2800 лет. И за всё это время не образовалось ни малейшего пятнышка ржавчины, а условия для ржавления в сыром и тёплом климате Индии очень благоприятны: ружья и револьверы, сделанные из обыкновенной стали, служат там очень недолго. В современной технике получаются только небольшие количества химически чистого железа. Как изготовили индусы столько чистейшего железа для колонны? На колонне нет ни одного шва. Как же они ковали такую громадину? Даже в настоящее время такую массу железа можно отковать только на крупнейших заводах гигантскими паровыми молотами. Всё это остаётся совершенной загадкой для нас.

Индусы знали и сталь: в Индии при раскопках встречается много орудий из стали, изготовленных ещё 3 тысячи лет тому назад.

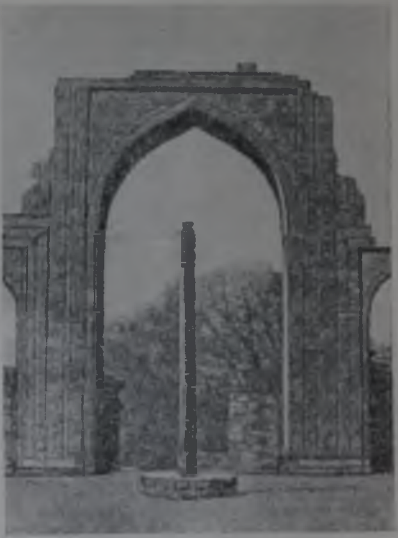


Рис. 8. Кутубская колонна близ г. Дели *(Индия)*.

Одним из самых древних металлургических центров являлось государство Урарту, расположенное на территории Армянского нагорья. Территория Урарту, богатая полезными ископаемыми, вполне обеспечивала собственным сырьём возникающую металлургическую промышленность. Памятники материальной культуры урартов, найденные при раскопках в Армении, свидетельствуют о большой самобытности этой культуры. Железо на территории Урарту вошло в широкое употребление раньше, чем в других районах Передней Азии. Урартская металлургия оказала значительное влияние на культуру Ассирии, но особенно сильно влияние урартов было на развитие культуры соседних народов Закавказья и Предкавказья. Произведённые в последние годы советскими археологами раскопки в Закавказье (у г. Еревана), при постройке ЗАГЭС, в Абхазии и других местностях показали, что Кавказ был ведущим звеном, соединяющим Европу и Переднюю Азию. Выдающимся событием явились раскопки майкопского кургана в Предкавказье, которые в совершенно ином свете пред-

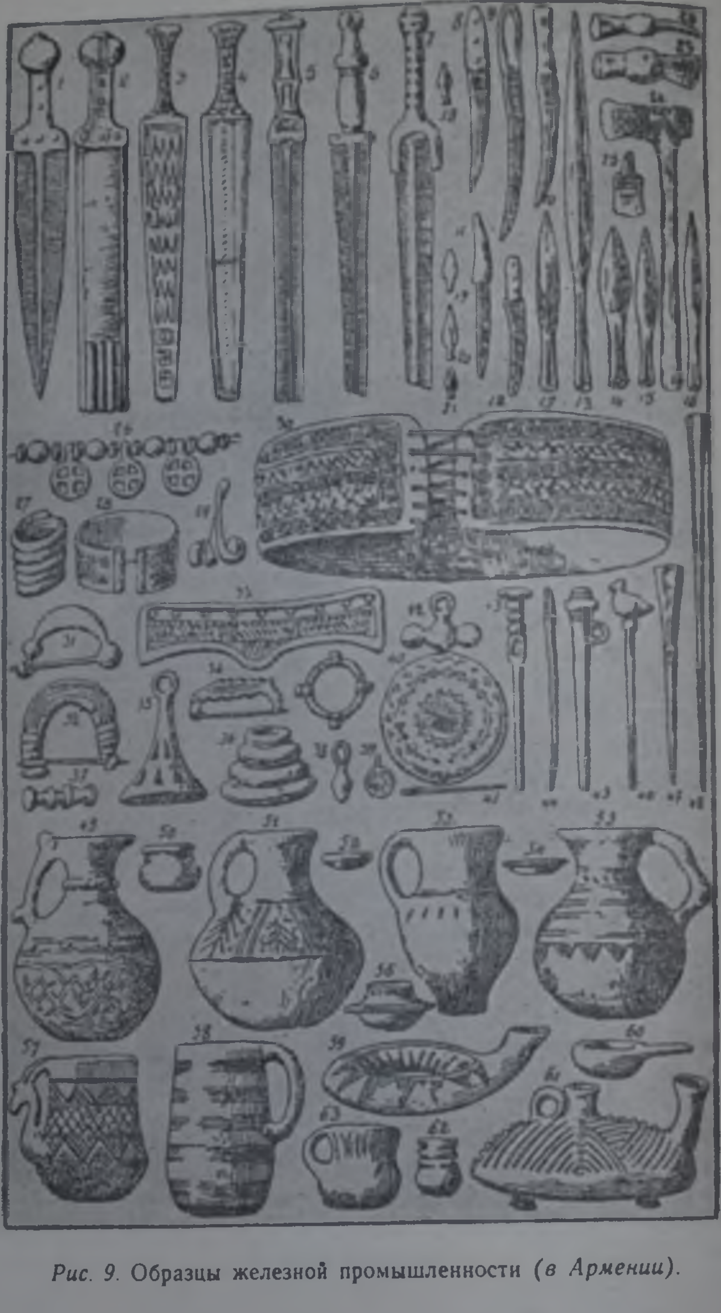


Рис. 9. Образцы железной промышленности *(в Армении).*

ставили культуру населявших эти территории народов. В майкопском захоронении, которое археологи относят к концу III и началу II в. до н. э., найдено большое количество вещей из чистой меди и других металлов, свидетельствующее о том, что эти изделия были изготовлены на месте, а не привезены из других стран.

Народы, населяющие пространства современной Сибири и Урала, также хорошо знали металлы — медь, олово, железо, бронзу и др., и, повидимому, открыли их независимо от народов других территорий. Особенный интерес представляют так называемые «чудские копи» — древние выработки, приписываемые чудским племенам, жившим на Алтае, по бергам верхнего течения р. Енисея (около Минусинска) и на Урале.

В конце III и начале IV тысячелетия до н. э. на территории Москвы и Подмосковья появились племена скотоводов, которые для производства орудий и оружия всё ещё употребляли камень, но уже знали и металл, что ясно подтвердили находки в раскопках городищ Фатьяновской культуры.

Позднее, с VII в. I тысячелетия до н. э. на грани эпохи бронзы и раннего железа в бассейне Верхней Волги и Оки жили племена, в глубокой древности вошедшие в состав восточных славян. Как показали раскопки Дьяковского и других древних городищ, здесь уже в больших масштабах велась обработка металлов — железа и бронзы. Железо добывалось из местных болотных руд. Среди изделий найдены железные серпы, топоры, рыболовные крючки, стрелы, бронзовые украшения, глиняные тигли, каменные литейные формы и др. Теперь несколько слов о народах Дальнего Востока. Этим народам также не чужда была химия. Самым значительным ранним открытием в Китае необходимо считать изобретение фарфора. Народы Ближнего Востока совершенно не были знакомы со способами его изготовления, а в Европе фарфор был изобретён только в XVII в. Многие изобретения китайского народа имели практическое значение. Они ещё до нашей эры умели взрывать скалы порохом. Краски они употребляли в большом количестве. Особой славой у них пользовалась киноварь, не только как краска, но и как лекарственное средство. За нею они даже проникали в Среднюю Азию. Теперь там найдено множество древних рудников, поражающих своими размерами.

Позднее, в начале II в. н. э., в Китае была изобретена бумага. Её изобретателем обычно считают крупного китайского чиновника, смотрителя императорского двора Чай Луня. Китайцы очень высоко ценили изобретение Чай Луня и самого изобретателя, в честь которого выстроили храмы, сохранившиеся и до настоящего времени.

В VI в. производство бумаги перешло в Корею, а из неё в Японию. Несколько позднее, в VIII в., бумага из Китая проникла в Среднюю Азию, затем к арабам, от них к маврам в Испанию и Италию и только в XII—XIII вв. получила распространение в остальных странах Европы. Следовательно, понадобилась целая

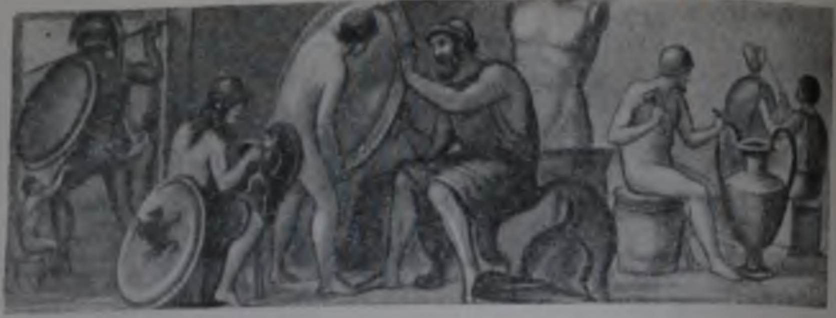


Рис. 10. Мастерская бронзовых изделий в древней Греции.

тысяча лет, чтобы величайшей ценности китайское изобретение получило признание и широкое распространение.

Ещё до нашей эры китайцами были разработаны способы получения сахара из растений. Широкое распространение получили у них и естественные (растительные) красители.

У греков, по сравнению с народами Древнего Востока, в химии наблюдается некоторая отсталость. Вся их химия — отблеск тех знаний, которые заимствовались с Востока. Из знаменитых поэм Гомера «Одиссея» и «Илиада» мы узнаём, что греки в эти времена не знали даже железа. В этих поэмах есть упоминание только о благородных металлах: с ними работал кузнец Гефест, из них изготовлена не только мелкая посуда, но и такие предметы домашнего обихода, как ванны (у царя Менелая, например, была ванна... из серебра!). Железо греки узнали приблизительно за 1000 лет до н. э. Краску — сурик греки приготовляли искусственно из свинца. У Геродота имеется очень любопытный рассказ о том, кто был одним из первых фальшивомонетчиков. Оказывается, что Поликрат Самосский[1] приказал отчеканить монеты из свинца, а потом позолотить их!

Выше, чем у других народов древности, стояло у греков производство красок. В поэмах Гомера даны блестящие описания разноцветных женских одежд. Красить греки умели не только шерстяные, но и льняные ткани, что значительно труднее.

Римляне немного создали оригинального в области химии. Но зато они замечательно умели использовать все химические открытия, сделанные народами обширнейшей Римской империи. Одним из выдающихся римских натуралистов был Диоскорид. Его влияние на учёных последующих поколений сохранялось тысячелетия. Диоскорид дал небольшую химическую энциклопедию, в которой описал процесс перегонки, приготовления белил, известковой воды, медного купороса и других веществ. Другой историк Кай Плиний

---

[1] Тиран острова Самоса (Греция) в 535 г. до н. э. привлёк к своему двору лучших поэтов, художников и учёных. Был ненавидим народом за ненасытную жажду к богатству и власти.

Старший, погибший в 79 г. при извержении Везувия, написал замечательную «Естественную историю» в 37 томах. В ней он описывает амальгамирование и процесс золочения при помощи амальгамы золота, сплавы, называет точки плавления различных металлов, говорит о применении ряда химических веществ в медицине. Судя по этой энциклопедии римской культуры, римляне знали, как белить с помощью горящей серы шерсть, получать уксус, белила, красящие лаки, скипидар из смолы хвойных деревьев, ртуть из киновари и т. п.

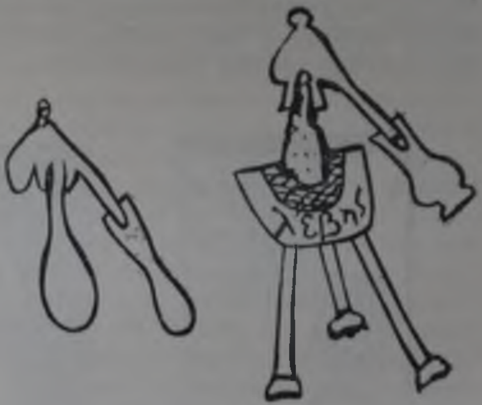


Рис. 11. Греческие дистилляционные сосуды.

В 341 г. н. э. невежественные монахи по наущению епископа Феофила сожгли мировую сокровищницу — знаменитую Александрийскую библиотеку. В огне погибло громадное количество рукописей. Вероятно, среди этих рукописей было не мало и химических сочинений. Вот почему мы так сравнительно мало знаем о состоянии химии у древних культурных народов. Гонения на языческую культуру всё больше начинают усиливаться, а в 529 г. император Юстиниан запретил заниматься естественными науками.

Кончился древний период химии, период очень интересный по своим открытиям и накоплению знаний, и наступил новый период, так называемый период алхимии.

Н. А. Морозов[1]

ПЕРВЫЕ ШАГИ ХИМИИ

Наука, историю и чудеса которой я буду вам рассказывать, в одно и то же время и очень древняя, и очень новая. Её начало, как и начало астрономии и физики, теряется в глубине прошедших веков. Фантазия алхимиков эпохи Возрождения относила начало химии и неразрывно связанных с нею тогда магии и алхимии ещё ко временам мифической Атлантиды, т. е. континента, будто бы существовавшего среди Атлантического океана на заре возникновения человечества и погрузившегося затем на дно вместе со всеми своими обитателями.

---

[1] Морозов Николай Александрович (1854—1946) — народоволец, крупный учёный; юношей принимал деятельное участие в революционном движении; неоднократно арестовывался царским правительством. Осуждённый в 1882 г. к бессрочным каторжным работам, он в течение 21 года был заточён в Шлиссельбургской крепости, откуда был освобождён после революции 1905 года. Находясь в тюрьме, Морозов написал ряд крупных теоретических работ по химии, истории химии, физике, математике и астрономии. После Великой Октябрьской социалистической революции Морозов был избран почётным членом Академии наук СССР. *(Состав.)*

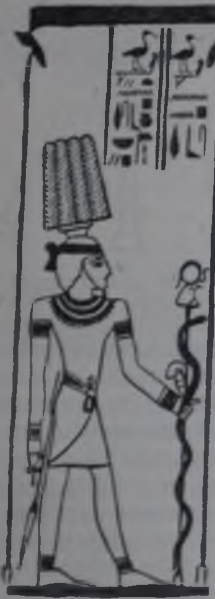


Рис. 12. Гермес, или Тот — покровитель священного искусства *(египетское изображение).*

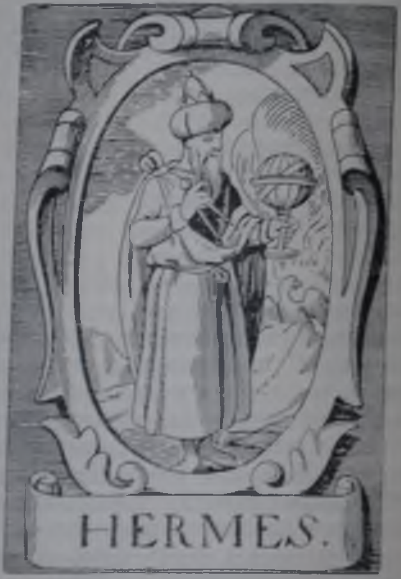


Рис. 13. Гермес Трижды Величайший *(арабское изображение).*

В таинственных храмах этой погибнувшей страны и начали, по их мнению, впервые отыскивать средства для превращения металлов в золото и серебро. Некоторые из наивных христианских учёных того периода даже прямо говорили, что приготовлением искусственного золота заинтересовался ещё первый человек библейской мифологии Адам, муж Евы. Другие, менее благочестивые, приписывали изобретение химии древнему египтянину Гермесу Трижды Величайшему — автору 42 легендарных научных трактатов (рис. 12 и 13).

Ещё в глубокой древности замечательные изменения в цвете, блеске и других физических свойствах, претерпеваемые металлами при их сплавлении друг с другом, должны были навести и действительно наводили древних халдеев, египтян, индусов, китайцев и греков на мысль о возможности получения самых редких и дорогих из них путём сплавления, в должных пропорциях, обыкновенных и дешёвых металлов. Так, например, сплав меди и олова, дающий золотистую бронзу, неизбежно должен был ввести того, кто первый его открыл, в роковое заблуждение. Ведь в руках древних не было ни точных весов для определения удельного веса, ни современных средств аналитической химии, дающих нам возможность легко и быстро отличить всякий золотообразный сплав от настоящего золота. Всё, что блестело, как золото, и обладало металлическими свойствами, было для них тождественно с этим драгоценным веществом, как и для большинства людей, незнакомых с химией и физикой. Чтобы не ходить далеко за примером, упомяну лишь об одном. Ко мне самому, во время заключения в Шлиссельбургской крепости, не раз приходили сторожившие меня жандармские офицеры с кусками гнейса, покрытыми золотистыми кристаллами железного колчедана, для того, чтобы я определил, не золото ли этот минерал, находимый ими то здесь, то там, в окрестностях Ладожского озера.

Можете же себе представить чувство того алхимика, кто первый, случайно сплавив в горне около четырёх частей меди с одной частью олова, вдруг получил, вместо красной меди и белого олова, желтоватое металлическое вещество, которое никто в то время не имел возможности отличить от золота! С каким восторгом он должен был прийти к убеждению, что открыл способ искусственного приготовления этого редкого металла! Даже и не роясь в исторических документах, а лишь на основании одних простых соображений о несложной психологии древнего человека, мы можем восстановить перед собою все его последующие поступки и ощущения с такой же точностью, как если бы мы всё это незаметно наблюдали собственными глазами. Мы можем, например, с уверенностью сказать, что в первый момент, когда он вынул из горна полученную им бронзу и с волнением торопливо рассматривал её, у него не оставалось ни тени сомнения, что перед ним, наконец, то, чего он, вероятно, уже не раз искал в своей уединённой мастерской. Мы можем себе представить, с какой тревогой, смешанной с восторгом, он зарыл где-нибудь полученное им сокровище, как это делали все в его время; с какой торопливостью он старался приобрести все имеющиеся в окрестностях медные и оловянные вещи для того, чтобы сплавлять их вместе и точно так же зарывать свои сплавы в землю.

А затем мы можем представить себе и его огорчение, когда, проверяя через несколько недель после первых дождливых дней свои сокровища, он вдруг увидел, что они покрылись тем самым зеленоватым налётом, каким при подобных условиях покрывается и обыкновенная медь!

Но если вы подумаете, что это должно было убедить его в ошибке, вы жестоко ошибётесь!

Ведь ржавчина на железе или зелень на меди ещё не считалась в то время их окислами, как они считаются теперь. Даже и слово окисел не существовало в то время. Соответствующие окислам соединения назывались тогда «известями» или «землями» металлов. Получаемые путём действия огня из этих известей или земель, все металлы считались даже химиками XVIII в. их соединениями, в которые входила заключающаяся в огне особая летучая материя — флогистон. По выделении флогистона металл, по их мнению, снова обращался в то самое землевидное или минералообразное вещество, которое мы называем теперь кислородным соединением самого металла.

Но в ещё более древние времена, во времена, предшествовавшие средним векам, не было и этих превратных представлений. Всякое потускнение блестящей поверхности только-что отлитого металла, всякий налёт, образующийся на ней от действия влажного воздуха, считался тогда за его простую болезнь, «проказу» металла, совершенно аналогичную сыпи или коросте на коже больного человека. А каждая болезнь объяснялась в то время влиянием особых, невидимых, но всюду присутствующих злых духов.

Понятно, что в нашем случае первый, открывший бронзу, должен был приписать порчу своего искусственного золота болезни, зависящей от вредоносного влияния на него невидимых духов.

Но болезни в то время лечились главным образом заклинаниями, ограждающими от таких влияний. Значит, приходило в голову нашему исследователю, приготовленное им искусственное золото позеленело потому, что не были соблюдены какие-то таинственные обряды, всегда охраняющие естественное золото от подобных заболеваний. И вот к химическим работам того времени всё более и более начала примешиваться мистика, сразу поставившая только что нарождающуюся науку на совершенно ложный путь. Химия породила магию и сама наполовину превратилась в неё.

Многие химические реакции, открытые ещё в глубокой древности, делали такой переход неизбежным. Почти каждое новое изобретение науки о превращениях вещества должно было поражать изумлением первого, кто случайно на него натолкнулся.

Представьте себе только хоть ощущения алхимика-монаха (рис. 14), когда в его ступе, где он толок смесь серы, селитры и угля, вдруг произошёл взрыв от упавшей туда искры. Представьте себе ощущения многих других химиков, которые, работая над каким-либо неисследованным веществом, вдруг оставались без пальцев или даже полной кисти руки только потому, что

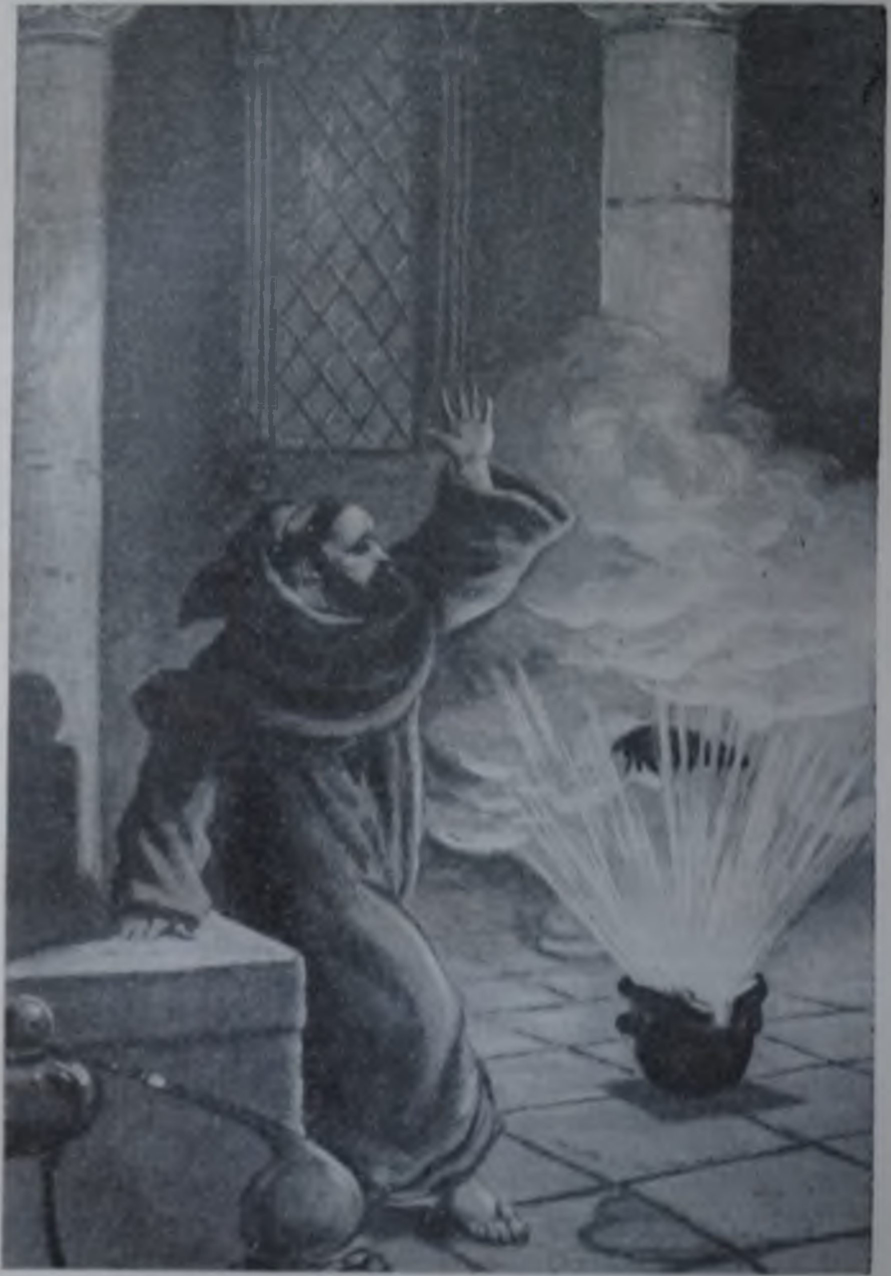


Рис. 14. Взрыв в лаборатории алхимика.

неожиданно натыкались на взрывчатую смесь! Почти каждое из известных нам взрывчатых соединений приносило какое-нибудь повреждение своему открывателю... Химия, по самой своей природе, должна была сделаться наукой чудес и мучеников.

(«В поисках философского камня», 1909 г.*)*

К. Я. Парменов

АЛХИМИЯ

I

Возникший на развалинах первобытного общинного строя рабовладельческий строй на грани нашей эры начал сам подвергаться разложению. Достигшие высокого развития, по сравнению с рабовладельческим обществом, производительные силы уже не могли развиваться в рамках этого строя. Внутренние потрясения (революции рабов и варварские вторжения извне) ускорили возникновение и развитие новой общественно-экономической формации — феодально-крепостнического общества.

В течение 13 веков господствуют в Европе феодальные отношения. Это были мрачные столетия безудержной эксплуатации, кровавых оргий, изуверства попов, застенков инквизиции, удушавшей в тюрьмах и пламени костров малейшие проявления свободной мысли. На протяжении всего средневековья шла ожесточённая борьба между двумя основными классами феодального общества — феодалами-помещиками и угнетёнными ими крепостными крестьянами в деревне и ремесленниками в городах. «Классовая борьба между эксплуататорами и эксплуатируемыми составляет основную черту феодального общества», — писал К. Маркс[1].

По сравнению с рабовладельческим обществом феодализм являлся более прогрессивной формой производственных отношений. Крепостной свободнее раба: помещик-феодал мог продать крепостного, но не убить его. «Новые производственные силы требуют, чтобы у работника была какая-нибудь инициатива в производстве и наклонность к труду, заинтересованность в труде»[2]. И если эпоха раннего средневековья характеризуется низким уровнем развития производительных сил, застоем техники, то в эпоху расцвета феодализма отмечается уже повышение уровня производительных сил, устанавливается разделение труда между деревней и городом, происходит рост городов как особых ремесленных и торговых центров.

---

[1] К. Маркс, Капитал, т. I. 1936, стр. 269.

[2] К. Маркс, Капитал, т. III, 1936, стр. 699.

Ничто так не способствовало разделению труда и появлению товарооборота, как возникновение металлургического производства. Человек скоро оценил силу металла, а природа не в одинаковой степени наделила металлами различные территории. В зависимости от природных богатств той или иной страны стали возникать и другие промыслы. Появляются мастера, специалисты своего дела. Развивается обмен сначала на ограниченной площади, а затем всё более и более расширяющийся.

С другой стороны, никакая другая материальная ценность не могла так удобно концентрироваться в одних руках, как металл, особенно благородный — основная драгоценность вначале родовой аристократии, а затем феодалов; «благородные металлы начинают становиться преобладающим и всеобщим товаром — деньгами, но металл еще не чеканят, а обменивают просто по весу»[1]. Скоро, однако, появилась и чеканная монета, «товар товаров», по выражению Энгельса, — одно из средств господства непроизводящего класса над классом тружеников. Власть обладателя денег и власть купца над трудящимися и их производством скоро выступили во всей их первородной неприкрытой грубости (в виде ссуд, займов, процентов, ростовщичества, долгов и тюрем за неуплату и т. п.).

Богатство породило низменные побуждения людей, неизвестные человеку родового строя: «Низкая алчность была движущей силой цивилизации, с ее первого дня до сегодняшнего дня; богатство и еще раз богатство, трижды богатство, богатство не вообще, а вот этого дрянного индивида, было ее единственной определяющей целью»[2]. Таким образом, на пороге капитализма создалась благоприятная почва для возникновения желаний обладать богатством (деньгами, золотом, землёй и другими материальными ценностями). Для удовлетворения этих желаний было несколько путей, освящённых феодальным государством: завоевания, торговля, ростовщичество и самые разнообразные формы феодальной эксплуатации (барщина, натуральный оброк, денежный оброк и др.). Продажа личного труда (в этом пришлось убедиться скоро) давала лишь средства для жизни, но никогда не приводила к богатству, если не сопровождалась эксплуатацией труда других людей.

Но человеческий опыт наталкивал на мысль о получении драгоценного металла, а вместе с ним и богатства, и другим путём. Что должен был подумать первый исследователь, который опустил железный предмет в раствор медного купороса и затем по прошествии некоторого времени вынул этот предмет из раствора? Как он мог объяснить факт появления меди на железе? Единственно тем, что железо превратилось в медь. Если случайно древнему химику приходилось сплавить медь с минералом, содержащим мышьяк, и наблюдать при этом побеление меди, никто не мог убедить его в том, что полученный им продукт не является чистым серебром.

---

[1] Ф. Энгельс, Происхождение семьи, частной собственности и государства, 1947, стр. 175.

[2] Там же, стр. 184.

Так постепенно выкристаллизовалась идея о превращении (трансмутации) одних металлов в другие и идея о возможности «удвоения» драгоценных металлов — золота и серебра. Полученные при многочисленных опытах знания стали обобщаться в первые теории о химических элементах и о происхождении металлов и минералов. Совокупность этих идей и составила алхимическое учение.

Зарождение алхимии нельзя приурочить строго к определённой исторической дате. Но везде алхимия возникала и развивалась потому, что с ней связывались определённые материальные классовые интересы. «Сильные мира сего», власть имущие — короли, герцоги, бароны, богатые дворяне, купцы, магнаты церкви — активно поддерживали идеи алхимии и их носителей, так как связывали с ними надежды на быстрое обогащение, а богатство — это сила и власть. На примере истории открытия фосфора алхимиком Брандтом прекрасно можно проследить, как старались крупные представители господствующего класса монополизировать это открытие в своих корыстных целях, какие надежды питали они, стараясь овладеть секретом приготовления фосфора, в котором они видели «философский камень».

Элементы мистики, аллегорический и секретный язык изложения алхимических трудов, вся идеология алхимиков становятся понятными лишь при рассмотрении социальной обстановки и классовой структуры, феодального общества. Мрачные столетия феодального засилия и монашеского фанатизма не могли не влиять в большой степени на развитие материального и духовного прогресса народов. Средние века внесли свою долю, и в конечном итоге значительную, в этот прогресс (были созданы великие поэтические произведения, великолепные громады готических соборов, изумительные архитектурные ансамбли, труды передовых мыслителей-философов того времени и др.), но темпы этого развития, в силу многочисленных тормозящих причин, были исключительно замедленными. Это сказалось на всех областях жизни, в том числе и на развитии химической науки и практики.

II

Какие же основные идеи легли в основу учения алхимиков средневековья?

1. Они верили в materia prima — первичную материю, которая находится везде и всюду, но загрязнена различными примесями. Удаляя примеси от первичной материи, можно получить «квинтэссецию», «философский камень», который превращает неблагородные металлы в благородные (свинец — в серебро, ртуть — в золото и т. п.), исцеляет все болезни, удручающие че-

ловечество, возвращает молодость старикам и продолжает жизнь за её естественные пределы (вспомните великое произведение Гёте «Фауст»).

2. Они признавали четыре элемента Аристотеля (сухость, влажность, теплота, холод), полагая, что путём соединения этих элементов и качеств можно получить все вещи в мире (рис. 14). Следовательно, алхимики считали возможным отрыв от вещества присущих ему свойств и перенос этих свойств на другие вещества. Иногда свойствам они приписывали и самостоятельное существование.

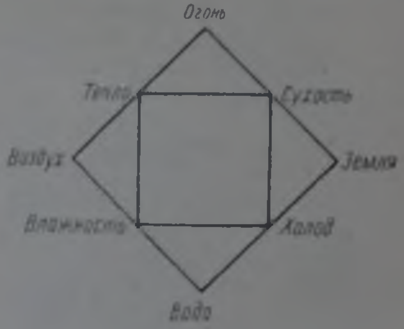


Рис. 15. Элементы Аристотеля.

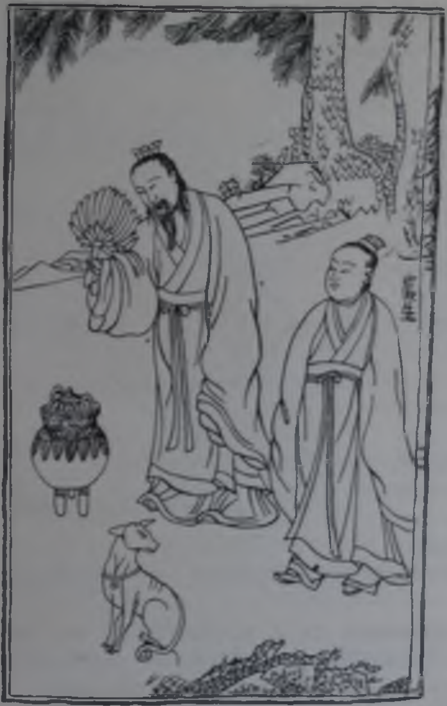
3. Алхимики были убеждены в том, что солнце, звёзды и планеты влияют на все процессы, происходящие на земле, в частности верили, что металлы зарождаются и развиваются в земных недрах под влиянием небесных светил, подобно органическим веществам.

4. Эта мистическая вера приводит их к убеждению, что на земле существует всего лишь семь металлов. Наивное верование алхимиков в этой части прекрасно выражено Н. А. Морозовым в небольшом стихотворении:

«Семь металлов создал свет,
По числу семи планет:
Дал нам Космос на добро
Медь, железо, серебро,
Злато, олово, свинец...
Сын мой! Сера их отец!
И спеши, мой сын, узнать:
Всем им ртуть родная мать!»

Эти семь металлов посвящены семи богам: золото — Аполлону (солнцу), серебро — Диане (луне), медь — Венере, железо — Марсу, олово — Юпитеру, свинец — Сатурну, ртуть — Меркурию. Сообразно этому, алхимики употребляют и обозначения металлов, сходные с обозначением планет:

☉ золото
☾ серебро
♀ медь
♂ железо
☿ олово
♃ свинец
♄ ртуть



Вей По-Ианг (*II в. до н. э.*).

5. Алхимики верили в трансмутацию металлов, т. е. превращение их друг в друга. Все металлы, учили они, образованы из ртути, и всё различие между ними состоит лишь в том, какой из элементов Аристотеля присоединён к ртути. Все металлы могут быть превращены в золото и серебро путём прибавки к дешёвым металлам качеств золота и серебра.

Алхимики первого периода — это чаще всего добросовестные труженики, искатели философского камня, удалившиеся от мира, избегающие сношения с этим миром, особенно сильными его, светскими и духовными властями, алчными до наживы. Они годами работали в своих лабораториях, внимательно следили за тем, как в примитивных ретортах, колбах, дистилляционных аппаратах совершаются различные процессы (рис. 15). Операции алхимиков иногда длились в течение нескольких лет и неоконченными передавались от отца к сыну, из поколения в поколение.

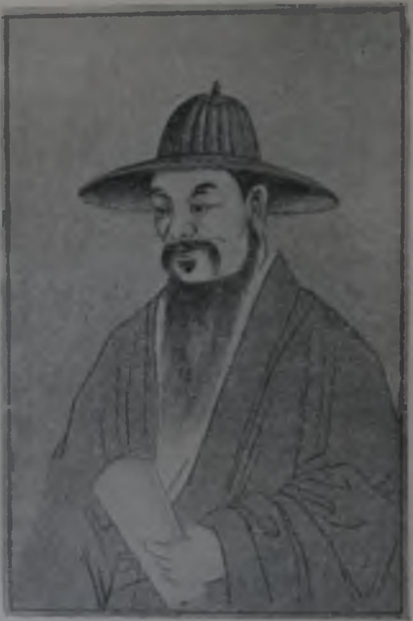
Начатки алхимических учений можно найти в очень древних сочинениях. Народы Китая, Египта, Ассирии, Индии уже к началу нашей эры умели получать не только драгоценные металлы, но и их сплавы, что считалось доказательством возможности превращения одних металлов, обладающих определёнными свойствами, в другие с новыми свойствами.

В Китае философ Вей По-Ианг (II в. до н. э.) в произведении «Книга перемен» описывает превращение простых металлов в золото и получение пилюлей бессмертия. Эти же идеи развиты в сочинениях другого выдающегося китайского химика Ко Хунга (281—361 гг.): в них описано большое количество лекарств, дающих бессмертие, и способов превращения ртути, меди, свинца и железа в золото.

В древнем Египте жрецы хранили в своих храмах в строжайшем секрете способы «превращения металлов».

Особое развитие получили алхимические взгляды во II—IV вв.

н. э. в Александрии. В Лейденском и Стокгольмском папирусах содержится много рецептов по «удвоению золота», по получению сплавов и «окрашиванию» металлов.



Ко Хунг *(281—361)*.

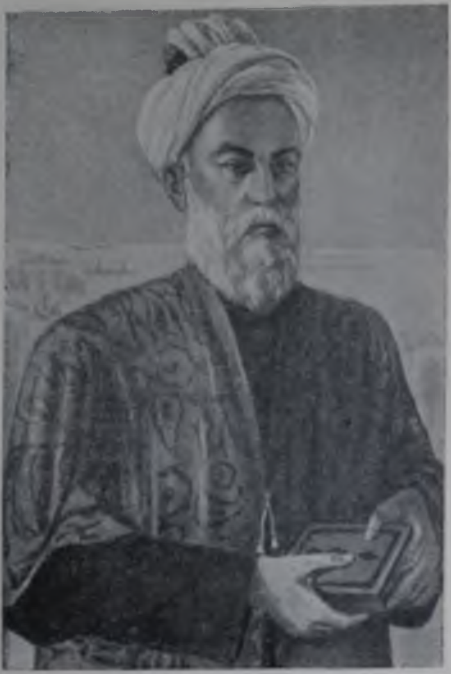
В IV в. Александрия была завоёвана арабами, которые подняли знамя науки и начали энергично развивать её, в том числе и химию. Создавались новые центры науки в странах Ближнего Востока (Византия, Иран, Сирия и др.). Однако церковный гнёт, усилившийся к концу VIII в. в Византии, сделался таким нестерпимым, что многим учёным пришлось бежать к арабам, в центр их цивилизации — Багдад. От арабов в VIII в. химия получила и своё название — алхимия (от *ал* — артикля в арабском языке и *химия* — слова, имеющего более раннее происхождение (см. стр. 9).

Из арабских алхимиков наибольшую славу получил полулегендарный врач Джабир-ибн-Хайян, известный в Европе под именем Гебера (721—815). Известны многочисленные рукописи Гебера, но многие из них оказались принадлежащими другим неизвестным авторам, подделывавшимся под Гебера с целью придания своим сочинениям большего авторитета.

На востоке в средние века особенно большое значение приобрели работы крупного таджикского учёного Абу-Али Ибн-Сины, — больше известного под именем Авиценны (980—1037). В своих химических и медицинских произведениях, получивших широкую известность на Востоке и в Европе, в том числе и в древней Руси, Авиценна разделял идеи о происхождении металлов из ртути и серы, но он придавал большое значение наблюдению фактов и потому не считал возможным получение одних металлов из других. Авиценна дал классификацию наук и классификацию химических веществ по их качествам.

После разорения Багдада и Мессопотамии в 1258 г. турками алхимики снова перекочевали в Европу, принося с собой и завоевания арабской культуры.

Из европейских алхимиков следует остановиться на нескольких крупных именах.



Авиценна *(980—1037)*.

Альберт Великий (1193—1280) — доминиканский монах, блестящий оратор, оставивший после себя многотомный труд — полную энциклопедию средневековых знаний о природе. Он был последователь Аристотеля, хотя не стеснялся вносить в его учение поправки, вытекающие из собственного мировоззрения и наблюдений.

Исключительно яркую фигуру средневековья представляет собой другой учёный монах **Роджер Бэкон** (1214—1294). Он получил блестящее по тому времени образование в Парижском и Оксфордском университетах. Роджер Бэкон признавал опыт и наблюдение единственным авторитетом в науке. Эти взгляды уже шли в разрез с догмами религии: католическая церковь не могла помириться с расшатыванием её устоев, и вольнодумец скоро был сослан в один из монастырей. Условия, в которых должен был содержаться в этом монастыре «брат Роджер», очень ярко изложены в письме генерала францисканского ордена настоятелю монастыря: «Он должен жить в полном уединении от мира, в разлуке с друзьями, заключённый в монастыре. У него есть брат, такой же учёный, как он; у него есть ученики, обращающиеся к нему за советом; пусть он станет ничем для них. Он должен быть заключён в тюрьме, на хлебе и воде, и следует конфисковать всякую рукопись, какую он вздумает куда-либо послать».

Последние строки, вероятнее всего, продиктованы корыстолюбием. Дело в том, что ко времени заключения Бэкона молва закрепила за ним славу открывателя философского камня.

Целых 20 лет пробыл Бэкон в заточении. За это время он написал несколько работ, но все они являют собой не проверенные опытом идеи или размышления по поводу чужих сочинений.

Только тогда, когда монахи убедились, что никакого секрета делать золото Бэконом не было найдено, они выпустили его из тюрьмы. Но Бэкон вышел из заключения врагом духовенства: он открыто напал на него в своём «Трактате философии» и за это

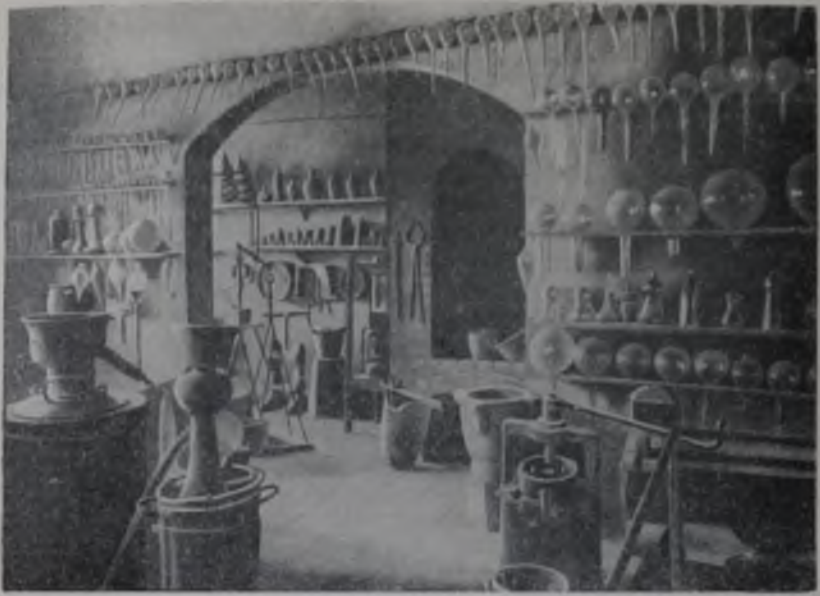


Рис. 16. Коллекция алхимической утвари.

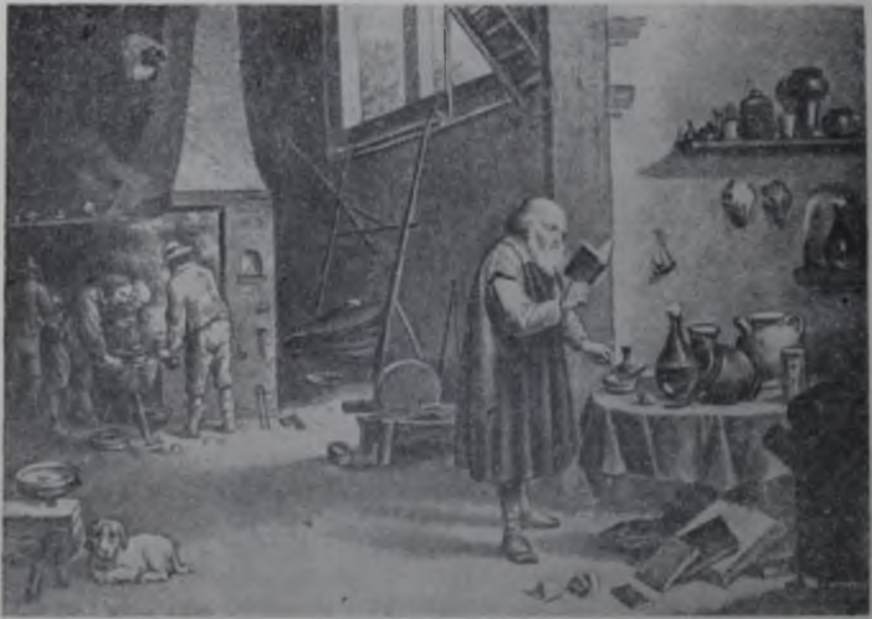


Рис. 17. Алхимическая лаборатория.

снова был посажен в тюрьму, где провёл ещё несколько лет в одиночном заключении.

В 1292 г. он был выпущен из тюрьмы с совершенно расстроенным здоровьем и скоро умер, 79 лет от роду.

«При других условиях, — говорит Н. А. Морозов, — из Бэкона вышел бы Ньютон современной химии, а теперь в лице его мы видим Ньютона, из которого церковное самодержавие средних веков сделало больного мечтателя».

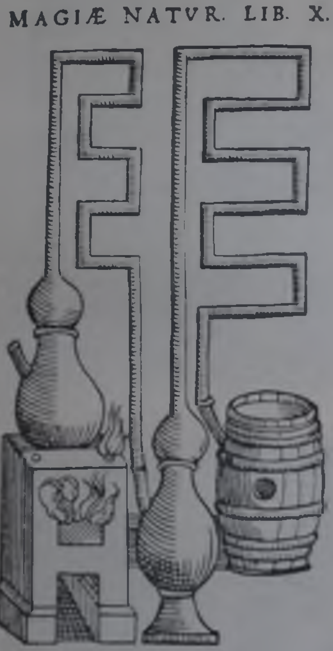

MAGIÆ NATVR. LIB. X.

Рис. 18. Перегонный аппарат Порта *(из книги, изданной в 1941 г.).*

Сочинения Бэкона, выходившие из тюрьмы, тщательно изучались алхимиками, и описываемые в них опыты проделывались. Не подлежит никакому сомнению, что больше всего таких опытов было проделано по приказанию папы монахами. Если принять во внимание тот завуалированный язык, которым Бэкон писал свои сочинения, то можно представить себе, какие только опыты ни произвели невежественные монахи, принимая многое в сочинениях Бэкона за чистую монету.

Остановимся несколько на технике работ алхимиков и на их языке.

В «Правилах» Альберта Великого названы операции, которые производили алхимики при своих опытах. Можно сказать, что число этих операций очень велико даже по сравнению с современной химической техникой. Главнейшими методами, которые были разработаны алхимиками, были следующие: 1) перегонка (дистилляция), 2) возгонка (сублимация), 3) осаждение (преципитация), 4) фильтрация, 5) кристаллизация и 6) кальцинация (обжиг).

Всё это — методы, которыми и теперь пользуется химическая наука, в особенности аналитическая химия.

Соответственно этим операциям были разработаны и приборы. На рисунке 16 изображена коллекция алхимической утвари, хранящейся в различных музеях, а на рисунке 17 представлена даже целая алхимическая лаборатория с характерной для неё утварью. Здесь мы видим прототипы наших современных химических приборов: колбы, реторты, перегонные кубы и различные другие дистилляционные аппараты и т. п.

Следующие рисунки (18 и 19) показывают дальнейшее раз-

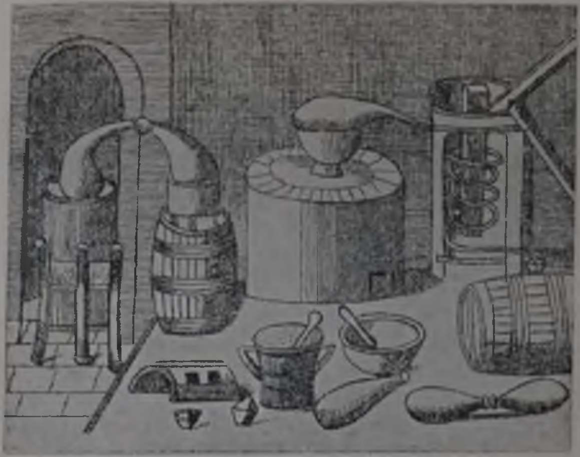


Рис. 19. Набор лабораторной посуды начала XVIII в

витие алхимической аппаратуры. Здесь мы видим причудливые водяные и песчаные бани, дистилляционные аппараты и т. п. На рисунке 20 изображён общий вид дистилляционной комнаты XVI столетия.

С помощью этих приборов алхимики открыли множество веществ и, таким образом, увеличили число тел, получаемых искусственно. Ими же было введено в науку и новое понятие «соль». Всё это заставляет дальше и дальше отходить от Аристотеля с его четырьмя элементарными свойствами. Алхимики разработали множество производственных вопросов, подготовив путь для успехов в области медицинской химии, горного дела и особенно металлургии.

Что же касается «квинтэссенции», «красного элексира», «философского камня», то это была дань того времени, прежде всего господства церкви, глушившей всякие рационалистические попытки и подавлявшей малейшие проявления бунта против её устоев.

Не будь этого гонения свободного проявления мысли, алхимические сочинения выглядели бы несколько иными, чем мы знаем их теперь. Мистика характерна была не только для одной химии. Медицина, естественные и физические науки были окружены непроницаемым покровом неопределённых и загадочных понятий. Медики XV в. так, например, объясняли лекарственное свойство свинца: замечая, как свинец очищает золото, они говорили, что поэтому он способен изгонять и нечистоты из человеческого тела. Серебро считалось хорошим средством при болезнях

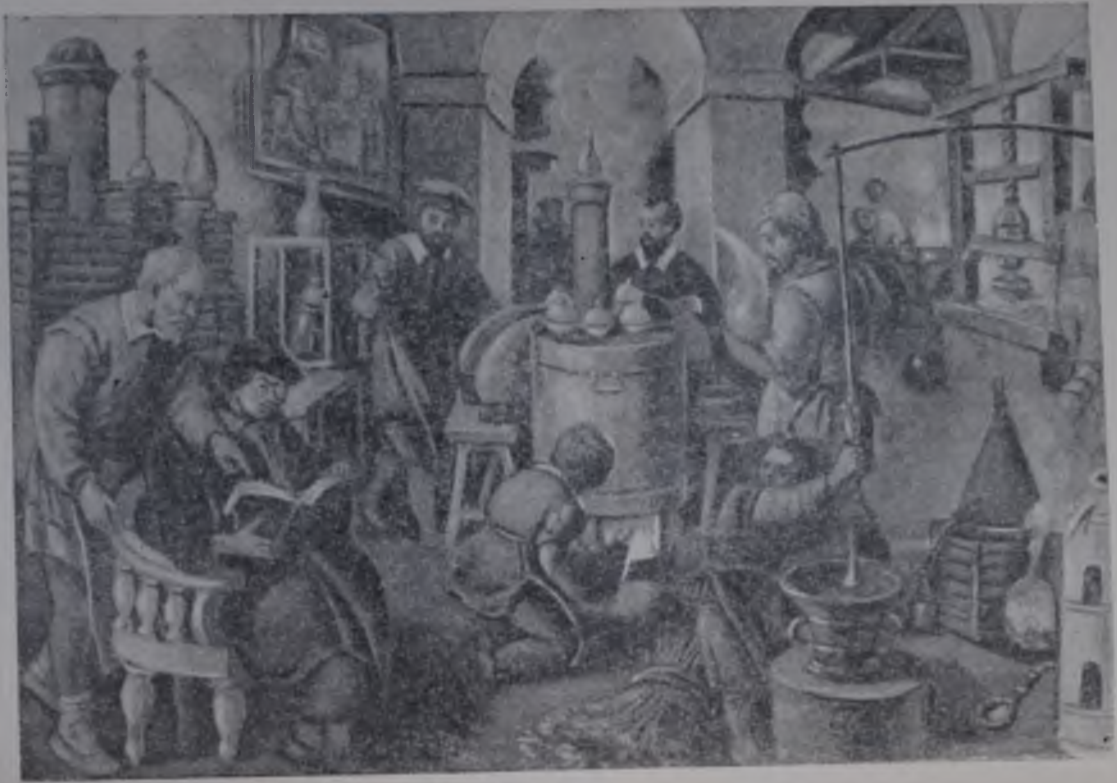


Рис. 20. Дистилляционная комната XVI в.

мозга, потому что серебро было посвящено луне, а мозг, говорили они, имеет связь с этой планетой. Даже физика в начале XVII в. едва освободилась от этих предрассудков: физики, например, серьёзно обсуждали вопросы вроде следующего: «одарены ли душою изображения внешних предметов, отражаемые выпуклыми зеркалами?»

Символика применялась как в отношении отдельных веществ, так и производимых с этими веществами операций.

На таблицах 21 и 22 даны алхимические обозначения главнейших веществ. Появляются такие выражения, как «купорос», «бронза» (от г. Брундузиум, нынешнего портового города Бриндизи), «камедь», «нашатырь», «царская водка», «антимоний» и др.

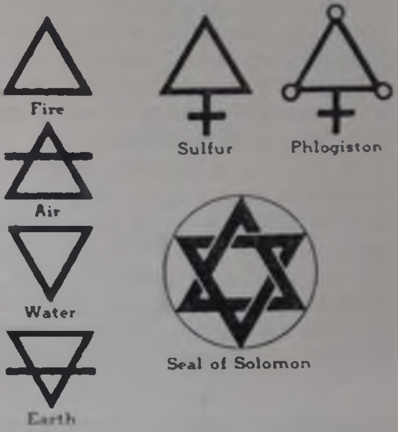
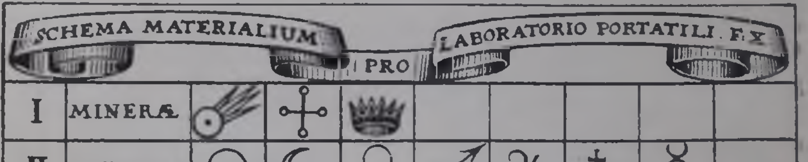


Рис. 21. Алхимические знаки.



SCHEMA MATERIALIUM PRO LABORATORIO PORTATILI. F. X

I	MINERÆ	☄	♁	♔					
II	METALLA	☉	☽	♀	♂	♃	♄	☿	
III	MINERALIA	♁	Bismuth	Zinck	Marcasit	Kobolt	Zaffra	Magnesia	Magnes
IV	SALIA	⊖	⦶	🜕	○	✳	🜖	Borax	Chrysocolla
V	DECOMPOSITA	☿	☿	o—o	⊂⊃	🜍	🝛		
VI	TERRÆ	⊕	Crocus ♂	Crocus ♀	Vitrum ♁	Vitrum ♄	Minium Lithargirum	Cadmia Tutia	Ochra Schmalta
VII	DESTILLATA	🜄	Sp 🜕 Sp 🜍	Sp ⊖	Sp ⦶	Sp V	Sp ♀	⁘	Sp ⊡
VIII	OLEA	Ol 🜕	Ol 🜍	Ol fetid ♀	Ol. p deliq. ♀	Butyr ♁	Liquor Silicum	Ol. Therebint	
IX	LIMI	C.V. Ψ	Arena ∴ Smiris—E	Creta Rubrica	Terra Sigillata Bolus	Hamatites Smiris	Talcum	Granati	Asbestus
X	COMPOSITIONES	Fluxus Niger	Fluxus Albus	Cera Tinctoria	Coloriza	Decoctio	Tiropelie		

Рис. 22. Алхимические обозначения различных веществ.

Первый период алхимии (до XVI в.) характеризуется, несмотря на большую бессмыслицу в работах многих алхимиков, накоплением общей суммы знаний.

Разложение алхимии началось с XVI в. и проявляется прежде всего в полном изменении облика алхимика. Алхимики перестают быть серьёзными учёными. Это — не аскеты, проводящие жизнь в уединённой лаборатории, «избегающие сношений с государями», а ловкие фокусники и обманщики, играющие на алчности королей, князей и епископов.

Карьеры алхимиков такого типа довольно похожи одна на другую. Сперва пускалась молва, что такой-то алхимик является обладателем секрета превращать обычные металлы в благородные. Короли и князья, истощившие часто свою казну в разорительных войнах, рассчитывали на быстрое её пополнение с помощью новоявленного алхимика. Последнему охотно давали деньги на опыты. Алхимик обманным путём производил в небольших размерах «превращение». Вера в его знания крепла.

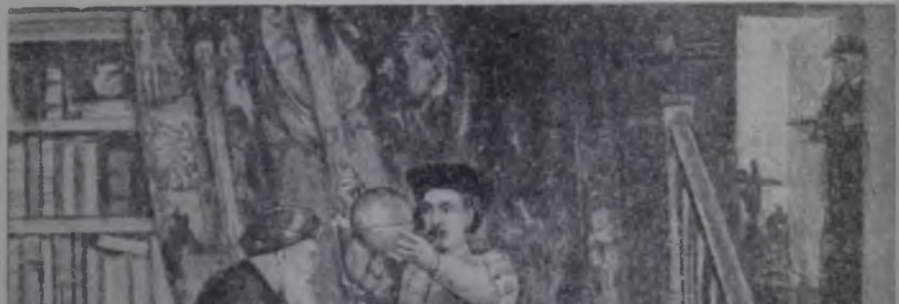


Рис. 23. Алхимик и его покровитель.

Огромные суммы захватывались алхимиком для налаживания «производства». Но производство никогда не налаживалось, и алхимик впадал в немилость. Финал был не всегда одинаков. Иногда аферисту удавалось с захваченными богатствами бежать с тем, чтобы через несколько времени вынырнуть в другом месте. Чаще же всего конец был гораздо трагичнее: вслед за разочарованием высокого покровителя следовали тюрьма, пытка и, наконец, казнь шарлатана. В Германии был установлен даже особый церемониал для казни алхимиков: на них надевали раззолоченную одежду и колпак и вешали на позолоченной виселице.

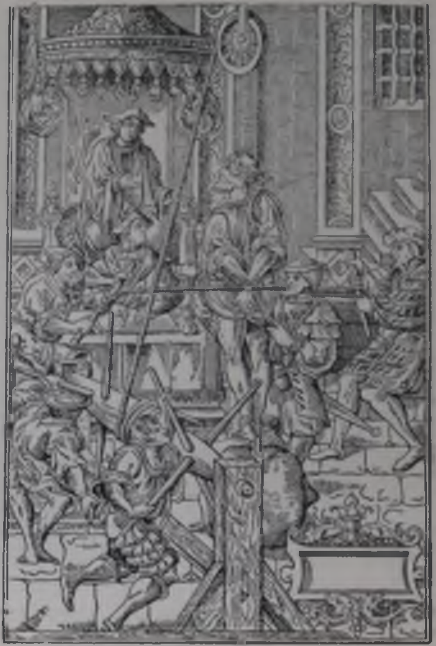


Рис. 24. **Пытка алхимика.**

На рисунках 23—25 мы видим как бы последовательное изображение карьеры алхимика. В большинстве это картины знаменитых художников (голландского художника Теньера Младшего, Дугласа и др.). Здесь имеются и вполне исторические личности: рисунок 23 изображает момент посещения курфюрстом саксонским Иоганном Георгом покровительствуемого им алхимика Лингарда Турнейсера.

Мы видим, как постепенно алхимия умирает, приобретает дурную славу и сводится до положения, при котором уже только редкие её приверженцы могли дожить до старости и умереть естественной смертью (рис. 24).

В половине XVI в. занятия алхимией уже были настолько опорочены, что это нашло выражение во многих каррикатурах. Одна из таких каррикатур дана на рисунке 25.

Время от времени появлялись то в одном, то в другом месте люди, которые утверждали, что они открыли великую тайну превращения неблагородных металлов в золото, но... у науки уже имелось очень много веских доказательств того, что этим путём нигде и никогда не было получено ни малейшей крупинки золота.

Из всего сказанного не следует, однако, делать вывод, что время господства алхимических взглядов — это время сплошных неудач, заблуждений, разочарований и обмана. Несмотря на ложность основной идеи алхимиков и большое число заблуждений, эта эпоха характеризуется значительным накоплением знаний в области химии и химической технологии. Этому способство-

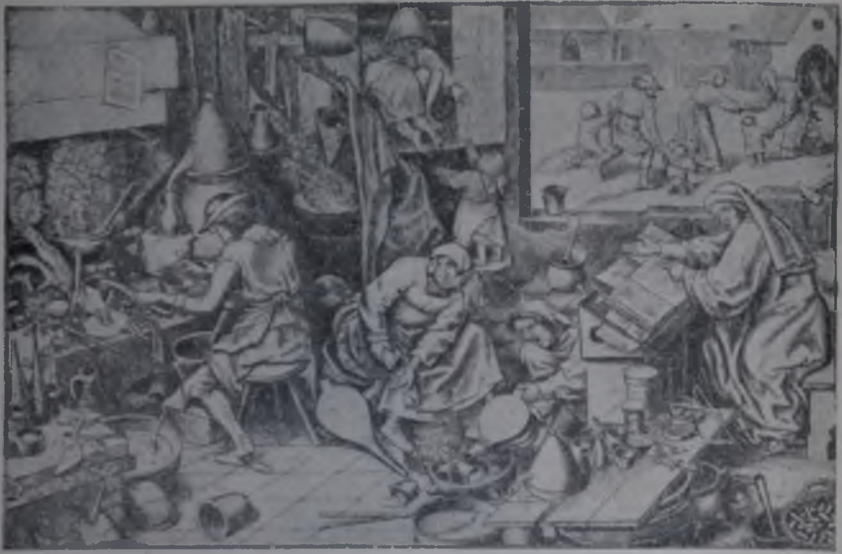


Рис. 25. Карикатура на алхимика.

вала и основная тенденция алхимиков смешивать, нагревать, растворять, дистиллировать и т. п. всё, что попало под руку, в целях поисков философского камня. Алхимики при своих работах имели возможность наблюдать многие реакции и получать многие важнейшие соединения; они изучили свойства серной, азотной и соляной кислот, селитры, пороха, царской водки, едких щелочей, винного спирта, открыли фосфор и ряд новых металлов (цинк, висмут, сурьму, мышьяк, кобальт, никель) и ввели препараты некоторых из них во врачебную практику.

Если мы несколько отрешимся от тех крупных заблуждений, которыми была пропитана алхимия, и объективно подведём итоги многовековой работы многочисленных искателей, часто бескорыстных и самоотверженных, то принуждены будем сказать, что эти итоги весьма значительны.

В чём они состоят?

Прежде всего, в изучении огромного количества веществ, затем в разработке и усовершенствовании многочисленных приёмов, иногда очень тонких, с помощью которых эти вещества изучались (дистилляция, сухая перегонка и др.), и, наконец, в первых попытках создания интернационального химического языка.

В процессе своих исследований алхимики сделали ряд крупнейших усовершенствований в деле получения металлов из руд, разделении металлов, ввели в лабораторную практику весы.

Всё это подготовило почву для появления нового течения, представители которого если и не освободились целиком от алхимических воззрений, то уже в большой степени корнями своими уходили в практику. Какую-либо резкую грань между алхимиками и химиками-практиками эпохи Возрождения провести невозможно, так как мы видим иногда отзвуки алхимических воззрений ещё в конце XVIII и даже в XIX в.

Как бы в противовес алхимическим взглядам, в XVI—XVIII вв. появляется новое течение, питающееся своими корнями уже почти полностью от практики.

В XVI в. мы встречаемся с такими крупными химиками-практиками, как Парацельс, Агрикола, Либавий, Палисси, а несколько позднее, в XVII—XVIII вв., Ван Гельмонт, Глаубер, Бехер, Кункель и другие, которые частично или полностью порвали связь с алхимическими воззрениями и направили свои работы в область медицинской химии, металлургии, стекольной, керамической и других отраслей промышленности. Работы этих лиц характеризуют уже новое направление в развитии химии. Они обогатили технику и самую науку весьма многими ценными сведениями и методами исследования.

Наконец, в эти времена жил и Р. Бойль (1629—1691), заслуги которого перед теоретической химией общеизвестны, но который не был чужд и практической химии (получение нашатыря, анализ металлов, изготовление цветных стёкол, чернил и т. п.).

В различных странах прикладная химия обнаружила неодинаковые тенденции развития. В Германии она была больше связана с фармацией (Парацельс, Ван Гельмонт, Глаубер), с гончарным производством (Палисси) и металлургией (Агрикола). В Швеции в эти времена развивается горнозаводская промышленность, потребовавшая тщательного изучения руд и минералов. Здесь зарождается минералогическая и металлургическая химия, достигшая расцвета в конце XVIII и начале XIX в. Упсальская академия, основанная в 1728 г., и Стокгольмская, основанная в 1732 г., уже стали давать крупные работы, а впоследствии сделались блестящими научными центрами в области химии и минералогии.

По мере развития экспериментального метода в химии, вызванного новыми потребностями промышленного развития, идея о превращении металлов, как переставшая влиять на прогресс науки и нисколько не помогавшая практике, постепенно стала отмирать. В противовес этой идее всё более и более развивалась и укреплялась другая идея, прямо ей противоположная, — идея о неизменности и несокрушимости атомов, занявшая непоколебимое господство в науке вплоть до начала XX столетия, когда и этой идее, по существу метафизической, был нанесён сильнейший удар: было обнаружено, что атомы двух хорошо известных химикам элементов —урана и тория — претерпевают самопроизвольный распад. С помощью современного уточнённого эксперимента учёные могут даже вызывать этот распад искусственно.

Значит ли это, что со времени Ломоносова, Бойля, Лавуазье и Дальтона химики заблуждались, а алхимики были правы? Конечно, нет: для сближения между собой беспочвенных мечтаний алхимиков и опытов современных учёных совсем нет никаких данных. Алхимики думали с помощью обычных химических операций изготовить весьма значительные количества золота; с помощью же современных чрезвычайно тонких и в то же время мощных физических методов можно искусственно произвести лишь очень ничтожное количество золота, да и то из платины, т. е. металла более дорогого, чем золото.

М. Усанович

ПЕРИОД МЕДИЦИНСКОЙ ХИМИИ. ПАРАЦЕЛЬС

Алхимия по своему происхождению и развитию является типичнейшим образцом средневековой науки. Александрийская школа, преобразовавшая техническую химию древности в алхимию, превратила математику в кабалистику, физику — в магию, астрономию — в астрологию. С последней алхимия была особенно тесно связана в силу той зависимости, которую алхимическая доктрина видела между металлами и планетами. Развитие всех этих средневековых наук происходило под сильнейшим и мертвящим воздействием бесплодной схоластической философии, не признававшей опытного исследования природы, довольствовавшейся комментированием старых авторов и решавшей различные вопросы с той точки зрения, соответствует ли данное решение мнению обязательных авторитетов (отцы церкви и главным образом Аристотель)[1].

Поэтому, когда новые открытия, которыми изобиловали XV и XVI вв., показали неопровержимо, что основные представления старых авторов не верны, что «св. писание» также ошибается в вопросах мироздания, вся система должна была рухнуть. Крушение это произошло в XVI в. одновременно с церковной реформацией. Реформатором алхимии был Парацельс.

Личность Парацельса до такой степени окружена вымыслом, что невозможно установить его биографию с достоверностью. Источниками для биографии Парацельса служат, во-первых, его сочинения, в которых очень часто встречаются автобиографические данные; во-вторых, воспоминания современников и сочинения его последователей и противников. Однако собственные сочинения, написанные в преувеличенно хвастливом тоне, переполненные явно неверными данными, могут быть материалом только для косвенных суждений. Что касается указаний современников, то и они, написанные друзьями или врагами в пылу яростной полемической борьбы, дают яркое представление о буре, вызванной деятельностью Парацельса, характеризуют силу его личности, его огненного темперамента, но ни в коей мере не могут претендовать на историческое беспристрастие. Насколько мало достоверны наши сведения о Парацельсе, можно судить хотя бы по тому, что сохранившиеся 35 портретов его очень мало походят один на другой (см. стр. 298).

---

[1] Даже в начале XVII в. один из начальников иезуитского ордена, которому некий монах хотел показать в зрительную трубу недавно открытые солнечные пятна, отказался от этого, заявив: «Напрасно, сын мой, я дважды прочёл всего Аристотеля и не нашёл ничего подобного. Пятен нет. Они проистекают от недостатка твоих стёкол или твоих глаз».

Легенда окружает Парацельса (настоящее имя которого было Филипп-Авреол-Теофраст-Бомбаст фон Гогенгейм) с самого рождения (1493 г.), и биографы расходятся относительно того, кто был его отцом. Вернее всего он был законным сыном Вильгельма Гогенгейма, врача и алхимика. Парацельс не получил правильного образования. В своих сочинениях он называет своими учителями, кроме отца своего, целый ряд лиц; однако хронологические данные опровергают его утверждения, так как эти лица умерли до его рождения. Трудно сказать, был ли он начитан. Неизвестно даже, владел ли он международным языком средневековой науки — латынью. Он никогда не пользовался этим языком.

Недостаток классического образования Парацельс с успехом восполнил продолжительными путешествиями, во время которых и приобрёл свои несомненно обширные познания. Путешествовал он очень много; по его словам, он посещал высшие школы Германии, Италии, Франции, объехал Испанию, Португалию, Англию, Моравию, Литву, Польшу, Венгрию, Валахию, Трансильванию, Нидерланды, Данию, Финляндию, Лапландию. Он уверяет даже, что бывал в Азии и Африке. Нет, конечно, никакого сомнения в том, что выдумка преобладает в этом перечне, но всё-таки установлено, что он путешествовал много лет. Во время своих странствований он посещал врачей и знахарей, чернокнижников и цирюльников, цыган и даже палачей. Пропитание себе он добывал при помощи своих медицинских и алхимических познаний; этим его деятельность, как мы сейчас увидим, не исчерпывается.

В 1526 г. Парацельс, после продолжительных странствований, прибывает, сопровождаемый славой искусного врача, в Базель. Здесь его успешная практическая деятельность производит сильное впечатление: он входит в милость к влиятельным лицам и получает место городского врача и профессора медицины в университете. Путь к профессуре открыла Парацельсу реформация: целый ряд кафедр пустовал в то время в Базельском университете из-за удаления профессоров католиков. Парацельс перешёл в реформатское вероисповедание, что, вместе с рекомендацией Эразма Роттердамского, очень облегчило ему доступ к занятию кафедры. Таким образом, человек, не имевший докторского диплома, получил, вопреки прочно сложившейся традиции, профессуру в Базеле.

В своей программе Парацельс объявил, что очистит медицину от её варварской закваски и восстановит её в первобытной чистоте, что он отбросит идеи древних и будет держаться указаний самой природы, своих собственных открытий и своего долголетнего опыта, что врачи заблуждаются грубейшим образом, потому что слепо следуют Гиппократу[1], Галену[2], Авиценне[3] и другим авторам, что не медицина, а химия может образовать истинных врачей, что ни учёные степени, ни красноречие, ни эрудиция, приобретённая чтением, ни знание языка не сделают искусным врачом, но только глубокие познания вещей, изучение тайн, скрытых в недрах природы, — в чём и заключаются все науки.

На своей вступительной лекции Парацельс, повторяя жест Лютера, сжегшего папскую буллу, сжёг перед своими слушателями сочинения Галена и Авиценны. Подобно Лютеру, переведшему библию на немецкий язык, Парацельс читает свои лекции не по-латыни, а по-немецки — смелость по тому времени неслыханная. Таковы внешние проявления переворота, произведённого Парацельсом. Смелость его выступлений, а также революционные (иногда чересчур рискованные) методы лечения, которые он применял, заставляют ополчиться против него буквально всех современных врачей. Парацельс со всем пылом буйного своего темперамента вступает в борьбу. Обе стороны не щадят друг друга и не проявляют особой разборчивости в средствах, а также и в выражениях, в которых ведётся полемика.

Приведём несколько выдержек из сочинений Парацельса.

«...Вы хотите стереть меня в порошок, приговариваете меня к сожжению. Я снова зеленею, а вы станете засохшими кустами. Врачами делают нас излечения, а не императоры, привилегии, академии. Как! За то, что я излечивал самую упорную болезнь, венерическую болезнь, не щадящую ни народов, ни государей, — вы топчете меня в грязь! Обманщики! Вы змеиной породы, и от вас мне нечего ждать, кроме яда. Если бы я мог защитить столь же легко мою лысую голову от мух, как моё царство от вас! Вы не знаете даже простых лекарств; вы спрашиваете у аптекаря: что это? что это такое? и собаки лечить я не доверю вам.

Неужели я стал хуже потому, что не посещаю королевских дворцов? Неужели вы становитесь искуснее, приняв присягу?

Ах, немецкий Карл! Что ты сделал с твоими научными сокровищами? Где твои медики? Где твои учёные? Где эти бандиты, которые прочищают безнаказанно желудки и угощают микстурами?»

---

[1] Греческий врач, живший в V в. до нашей эры.

[2] Римский врач (II в. нашей эры).

[3] См. стр. 29.

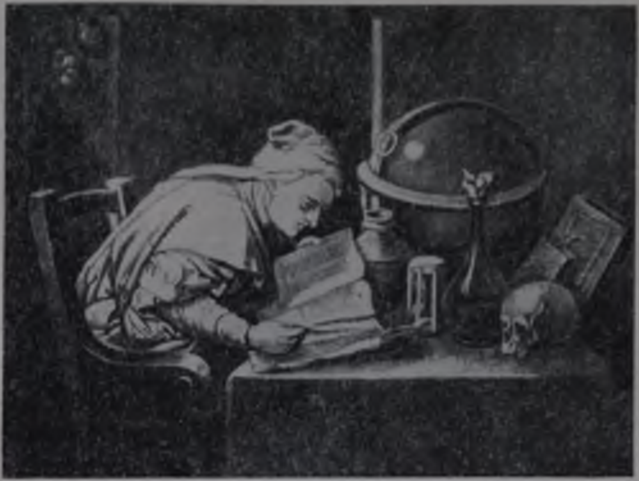


Рис. 26. Врач-алхимик.

Легко себе представить, какое раздражение вызвал Парацельс в стане своих врагов. Его начинают преследовать; Базельский университет неожиданно, через год после назначения Парацельса профессором, требует от него представления докторского диплома. Парацельс обращается в совет г. Базеля и в письме, сохранившемся до сих пор, просит «приказать его врагам прекратить нападки против университетского профессора и не препятствовать ему в чтении курса оскорбительными выражениями и низкими обвинениями, которыми они осыпают его».

Столкновение окончилось победой Парацельса.

Борьба, начатая Парацельсом, продолжается и после его смерти. Сущность его реформы состоит в том, что он ставит во главу угла химию и вместо лекарств растительного происхождения начинает применять химические препараты, в том числе и сильно действующие. Новое направление в медицине и формации быстро распространяется и, будучи одним из проявлений реформации, приобретает всё большее число сторонников и приверженцев в протестантских государствах; католическая церковь вносит сочинения Парацельса в список запрещённых книг, а парижский парламент в 1566 г. запрещает пользование средствами Парацельса и одновременно выражает порицание всяким нововведениям в медицине.

Взгляды Парацельса на медицину являются следствием его общего мировоззрения. Парацельс исходит из представления о мире как о едином целом, состоящем из одних и тех же основных начал и управляемом во всех своих частях одними и теми же законами. Человеческий организм — химическая лаборатория; болезнь — нарушение правильной деятельности этой лаборатории, происходящее вследствие недостатка или избытка каких-нибудь веществ; задача врача — восстановить правильное соотношение, введя в организм необходимые химические препараты.

Сближая таким образом медицину с химией, Парацельс направляет и последнюю на новый путь. Не превращение металлов в золото, а приготовление лекарств должно, по Парацельсу, быть целью химии. С первого взгляда кажется, что в этом предположении Парацельса не заключается переворота; но вспомним, что в течение тысячелетия усилия алхимиков были направлены на осуществление определённой цели, что всё содержание науки видели именно в этом и что алхимические теории целиком построены на представлении о превращении металлов.

Парацельс не высказывал отрицательного отношения к алхимической доктрине; он даже уверял, что знает секрет философского камня и умеет превращать металлы, в доказательство чего демонстрировал «превращение» железа в медь при погружении ножа в раствор медного купороса[1].

Очевидно, что со стороны Парацельса такая терпимость по отношению к алхимии была тактическим приёмом: он хотел сосредоточить огонь своего нападения на медицине и, кроме того, извлекал выгоду из веры современников в превращение металлов. Но нет никакого сомнения в том, что Парацельс сам не заблуждался в этом вопросе. Сказанные им по другому поводу слова, что «теория, не доказанная опытом, всё равно, что святой, не совершивший чуда», целиком могут быть приложены к превращению металлов в золото.

Не вступая в открытую борьбу с алхимией, Парацельс вносит существенное изменение в представления алхимиков о природе металлов: составные части металлов, по Парацельсу, — ртуть, сера, соль. Как мы уже знаем, мысль о третьем начале возникла раньше, но не приняла достаточно определённого выражения; Парацельс же своим третьим началом обозначает огнестойкую часть веществ. Из тех же трёх начал, по Парацельсу, состоит вся природа. В этом положении Парацельса сказывается его наблюдательность и способность к обобщениям: в самом деле, при действии огня на различные вещества часть сгорает, часть улетучивается, не сгорая, и, наконец, часть остаётся, не подвергаясь в дальнейшем изменению от огня. Таков смысл трёх начал, и введение Парацельсом третьего начала — соли — привлекает внимание к веществам, не изменяющимся от огня, — к минеральной части организмов, а также к минералам. Это вскоре дало практические результаты.

---

[1] При этом железо переходит в раствор, вытесняя из последнего медь, осаждающуюся на поверхности лезвия.

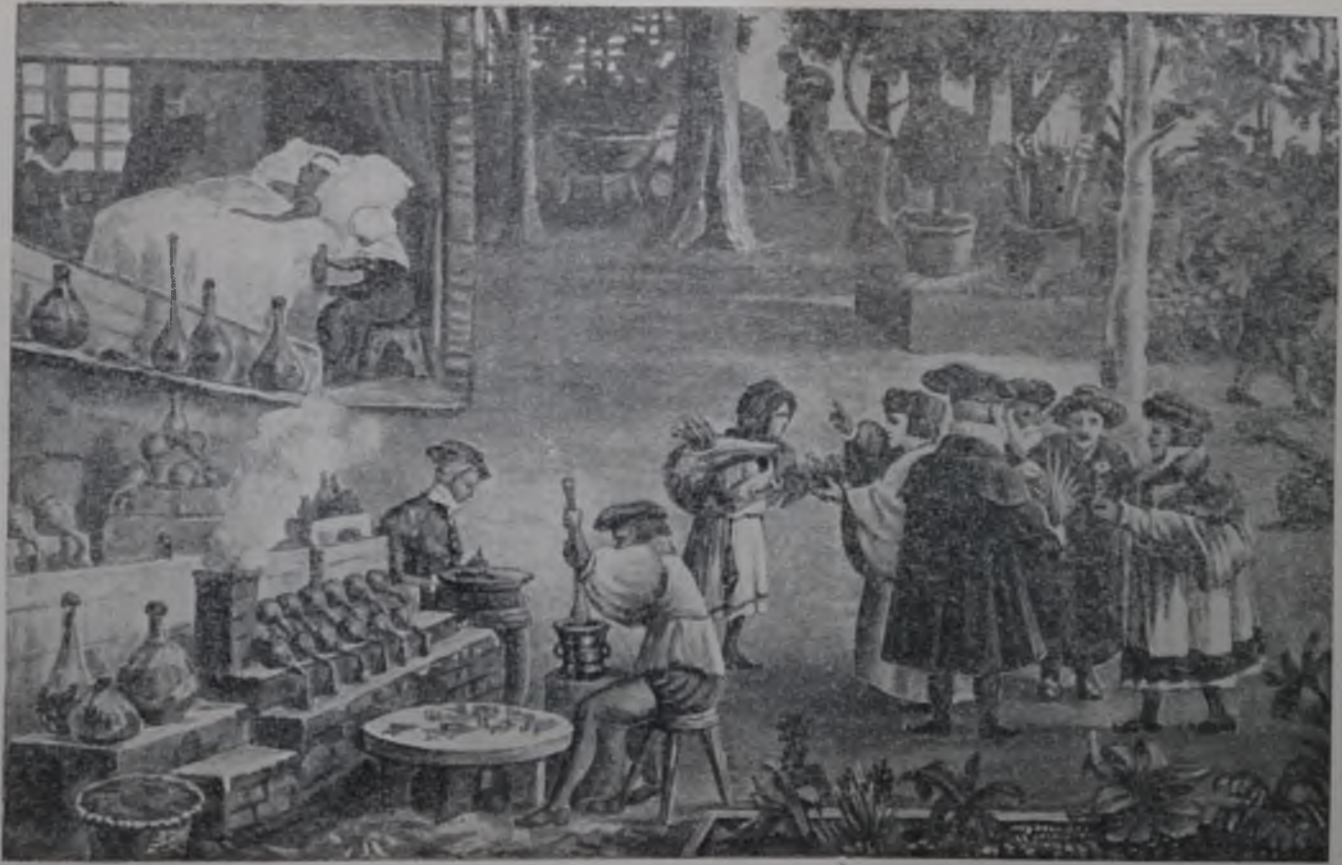


Рис. 27 Врачи у постели больного (*средневековая картина*).

Со времени Парацельса, благодаря произведённому им объединению химии с медициной и формацией, начинается новый период в истории химии — период иатрохимический, или медицинской химии.

Из душной монастырской кельи химия перекочёвывает к врачу и аптекарю, в обстановку, более благоприятную для её дальнейшего развития. Среди представителей иатрохимического периода выделяются своими трудами Либавий, Агрикола, Палисси, Глаубер и некоторые другие. Эти учёные развивают различные отделы прикладной химии; металлургия, красильное производство и в особенности фармацевтическая химия делают в рассматриваемую эпоху значительные успехи.

Но из всех позднейших представителей иатрохимии самым выдающимся был бесспорно Ван-Гельмонт.

(*«Творцы химии»*, 1930)

«Химия... освободилась от алхимии посредством теории флогистона...»

(Ф. Энгельс. Диалектика природы. 1948, стр. 8).

Л. А. Чугаев

ТЕОРИЯ ФЛОГИСТОНА

Во второй половине XVII в. в химии возникло новое научное течение, хотя и далеко не свободное от предрассудков старого схоластического направления, но во многих отношениях своеобразное и во всяком случае весьма замечательное для того времени. Я имею в виду учение о флогистоне, впервые выдвинутое Бехером (1635—1682), подробнее обоснованное и развитое Сталем (1660—1734).

К тому времени, к которому относится деятельность этих химиков, задачи нашей науки успели значительно отойти от идеала алхимиков. Область химии, занимавшая этих учёных и их современников, несколько сдвинулась в сторону от той, которая составляла предмет исключительного интереса алхимиков, и притом расширилась. Центральное место заняли теперь всевозможные реакции горения и обжига тел на воздухе и свойства продуктов, при этом получающихся, т. е. кислот, оснований и солей, а с другой стороны — реакции противоположного характера — процессы восстановления.

Эти явления как бы заступили место процессов трансмутации, в возможность которых благодаря длинному ряду неудач и разочарований многие перестали верить. Вместо философского камня мысль искала и находила то общее, что придаёт телам горючесть. Это нечто в более или менее смутной форме выдвигали и алхимики, и иатрохимики под именем серы. Но роль последней в только что упомянутых процессах оставалась неясной.

Основными элементами минерального или подземного царства Бехер считает воду и землю. Но земля является как бы более отдалённым компонентом различных тел, роль же ближайших составных частей играют три различные земли: первая земля — плавкая или стекловидная, вторая земля — жирная или горючая и третья земля — жидкая. Эти земли напоминают, конечно, tria prima иатрохимиков и подобно этим последним являются носителем определённых свойств. В частности, жирная земля Бехера, являющаяся носителем горючести, напоминает серу прежних химиков. Но в отличие от своих предшественников и в согласии со своими общими взглядами, Бехер считает серу телом сложным. Её горючесть обусловливается содержанием жирной земли, но кроме того в сере заключается ещё другое кислотное начало, благодаря чему она и может послужить источником получения серной кислоты, в то время уже известной. Для этого следует только освободить серу от горючего начала.

В этих представлениях уже ясно видны основные черты будущей теории флогистона, которая была развита во всей своей полноте только последователем Бехера — Сталем. В противоположность туманным и противоречивым воззрениям алхимиков и некоторой недоговорённости, которую мы находим у Бехера, теория Сталя отличалась замечательной для того времени ясностью и последовательностью. Горючее начало Бехера превратилось у Сталя в ту огненную материю, или флогистон, которая составляет центральную фигуру в нарисованной им картине химических превращений. Смелым скачком мысли Сталь связал типичные процессы горения с явлениями обжига или кальцинации металлов. Последние при этом процессе теряют не только свои типичные металлические свойства: блеск, ковкость и пр., но и способность к дальнейшему изменению при действии огня.

Сталь предположил, что общее горючее начало, находящееся в различных телах, является причиной всех этих явлений. Когда тела горят, оно выделяется, оно может дать начало огню. Когда лишённые горючего начала вещества подвергаются действию тел, богатых этим началом, происходит обратное явление. Так, металлические извести при прокаливании с углем вновь приобретают все свойства, утраченные при кальцинации.

Этому-то горючему началу Сталь и придал название *флогистона.*

Чтобы проникнуться представлением Сталя, надо заставить себя на это время совершенно забыть понятия о процессах горения, к которым мы привыкли со школьной скамьи, которые теперь кажутся нам уже не истолкованием известных фактов, а лишь верной их передачей.

Мы теперь считаем, что когда горит сера, то она соединяется с кислородом, образуя сернистый газ (SO_2), который при известных условиях может обогатиться кислородом воздуха и образовать серный ангидрид (SO_3), который с водой даёт серную кислоту или купоросное масло (H_2SO_4). Можно обратно отнять связанный с серой кислород, хотя бы по тому способу, о котором упоминает Сталь. Тогда кислород от серы переходит к углю и вступает с ним в соединение (образуя углекислый газ CO_2), а сера освобождается. Равным образом при обжиге металлов последние соединяются с кислородом и образуют окислы. Медь, например, превращается в чёрную окись меди (CuO), ртуть в красную окись ртути (HgO) и т. д.

Для нас сера по своему составу проще сернистого газа и серной кислоты, металлы проще их кислородных соединений. Для нас образование окислов серы и металлов обозначает усложнение вещества (синтез), тогда как обратный процесс восстановления, или разложения, окислов есть процесс упрощения (анализ). С точки зрения теории Сталя, дело должно обстоять как раз наоборот.

Сера сложнее серной кислоты и металлы сложнее отвечающих им «извёсток», ибо содержат, кроме некоторой земли, ещё флогистон. Они теряют его при горении или обжиге и вновь приобретают при прокаливании с углем. Горение есть процесс разложения; оно, следовательно, связано с упрощением вещества; наоборот, восстановление есть процесс усложнения, процесс синтеза.

Все горючие вещества содержат флогистон, но особенно богаты им те, которые сгорают почти без остатка. Таков уголь. Сталь даже как будто ещё дальше шёл по пути сближения флогистона с углем, считая, что все живые организмы, растения и животные содержат в своём составе флогистон, что при горении этот последний переходит в воздух, откуда вновь извлекается растениями.

Впоследствии, когда был открыт водород, многие химики были склонны именно в нём видеть, так сказать, наиболее полное и совершенное воплощение идеи флогистона.

Однако Сталь вовсе не отожествлял флогистон с каким-либо реальным веществом. Флогистон представляется ему необыкновенно тонкой и лёгкой землёй, которая, однако, никогда не существует сама по себе, а лишь в комбинации с другими субстанциями. Огонь и флогистон также не одно и то же. Флогистон есть только начало огня, но не сам огонь.

Любопытны представления Сталя об огне и о самом процессе горения. Огонь он не считает определённым веществом, а лишь собранием телец, находящихся в сильнейшем вихревом движении. Но флогистон способен приходить в состояние такого движения и принимать форму огня лишь при наличности известных посторонних тел, лишь в известной материальной среде, в которой он мог бы распространяться, или растворяться.

Роль такого растворителя играет воздух, необходимость которого для поддержания горения была хорошо известна Сталю, причём, как и в случае ограниченной растворимости солей в воде, некоторое количество воздуха может воспринять или растворить лишь определённое максимальное количество флогистона. Вот почему свеча, погорев некоторое время в закрытом пространстве, тухнет.

Нельзя не признать, что теория флогистона охватила обширный круг важнейших химических процессов, дала им удовлетворительное по тому времени объяснение, а главное — объединила разрозненные факты химии в одно стройное целое. Можно сказать, что многие из числа известных тогда химических явлений происходят действительно так, как если бы флогистон на самом деле существовал и обладал свойствами, которые ему приписывались.

Нет поэтому ничего удивительного в том, что учение Сталя быстро овладело умами и в течение целого столетия оставалось господствующим, едва ли не общепризнанным, для многих превратилось почти что в догму.

Блестящему успеху теории флогистона много содействовало и то обстоятельство, что Сталь пришёл к двум важным обобщениям. Вот в каких выражениях говорит об этих заслугах Сталя его научный противник Лавуазье:

«Мы обязаны Сталю двумя важными открытиями: во-первых, что металлы являются телами горючими, что кальцинация есть настоящее горение... Второе открытие, которым мы также обязаны Сталю и которое является ещё более важным, заключается в том, что способность гореть, быть воспламеняемым, может передаваться от одного тела к другому. Если, например, смешать горючий уголь с негорючей серной кислотой, то последняя превращается в серу; та приобретает способность гореть, которую в то же время теряет уголь».

Весьма замечательно, что Сталю несомненно были известны многие факты, которые спустя почти целое столетие привели к крушению его теории. Ему была известна ограниченная способность определённого объёма воздуха поддерживать горение. Он знал также, что при обжиге металлов происходит увеличение в весе. Но он игнорировал эти факты или давал им превратное объяснение. Так, прибыль в весе при кальцинации он, вслед за Кункелем, объяснял увеличением удельного веса тела, происходящего при этом процессе вследствие улетучивания лёгкого флогистона. Заметим, что ещё Бойлю, на опыты которого ссылается Сталь, было известно, что на самом деле переход металлов в «извёстки» сопровождается не повышением, а понижением удельного веса.

По мере того, как накоплялись новые факты, увеличивалось и число возражений против теории Сталя. Его последователям приходилось поэтому всё более и более прибегать к произвольным, фантастическим объяснениям, даже к софизмам, пополнять первоначальную теорию рядом добавочных, часто противоречащих друг другу допущений. Теория мало-помалу превращалась в запутанный клубок.

(«Открытие кислорода и теория горения», 1919 г.)

В. Рамзай

КРУШЕНИЕ АЛХИМИИ. РОБЕРТ БОЙЛЬ

«Бойль делает из химии науку».

(Ф. Энгельс, Диалектика природы, 1948, стр. 48).

В древности везде и повсюду были тайны, ими были окутаны сокровища, которые казались слишком ценными для того, чтобы покров тайны мог быть снят перед простым народом. Говоря словами Самуэля Броуна, «в те дни металлы были солнцами и лунами, королями и королевами. Золото было Аполлоном, солнцем небесного купола, серебро — Дианой, прекрасным месяцем в его безостановочном беге, гонимым насмешками по небесному лесу, ртуть была Меркурием с его крылышками, гонцом богов, воспламенившимся на вершине холма, которую лобзает небо; железо было красным Марсом в полном вооружении; свинец был Сатурном с тяжёлыми веками, неподвижным, как камень в заросшем лесе материальных форм; олово — было Diabolus metallorum истинный дьявол металлов и т. д. и т. п.».

«Здесь были летающие птицы, зелёные драконы и красные львы. Были девственные источники, королевские бани и воды жизни. Были соли мудрости и духовные эссенции, тонкие и летучие. Были здесь порошки любви, которые привлекали к их счастливому обладателю все сердца, как мужчин, так и женщин. И, наконец, здесь был алькагест, универсальный растворитель. Здесь был великий элексир, доставлявший бессмертие и юность счастливому обладателю, который был настолько чист и храбр, что он мог лобзать и проглотить золотое пламя, окружавшее кубок жизни. Здесь был философский камень и камень мудрецов. Первый был искусство и практика, а второй — теория и идея превращения простых металлов в благородные. Философский камень был моложе элементов, но, тем не менее, достаточно было одного прикосновения к нему, чтобы грубейшая известь, покраснев, превратилась в чистейшее золото. Камень мудрецов был перворождённым среди всех вещей и старше короля металлов. Одним словом, то была беспорядочная смесь из немногих, с трудом добытых фактов природы и множества весьма фантастических понятий».

Подобного рода понятия господствовали и в головах философов, как они любили себя называть, вплоть до середины

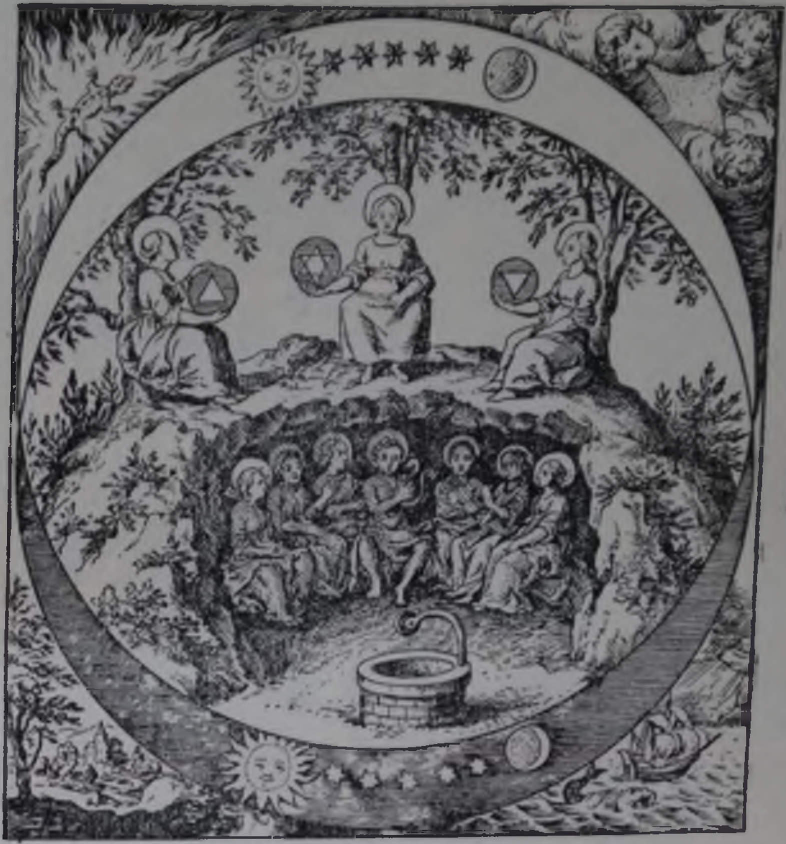


Рис. 28. Символическое изображение алхимиками семи металлов (*«Хор металлов»*).

XVII столетия. Между тем, однако, народился метод допрашивать природу и скоро принёс свои плоды. Если эти понятия продолжали жить и гораздо позже и не исчезли совсем даже и в настоящее время, то первый тяжёлый удар они всё же получили именно в то время. То была первая атака на них в борьбе, в которой им суждено было погибнуть.

Этот удар был нанесён Бойлем. Каким духом он был проникнут, когда бросился на вражеские ряды, всего лучше видно из собственных его слов: «Я привык рассматривать мнения, как монеты. Когда мне в руки попадает монета, я обращаю гораздо меньше внимания на имеющуюся на ней надпись, чем на то, из какого металла она сделана. Мне совершенно безразлично, вычеканена ли она много лет или столетий тому назад, или она только вчера оставила монетный двор. Столь же мало я обращаю внимания на то, прошла ли она до меня через много или мало рук, если я только на своём пробирном камне убедился, настоящая ли

4*

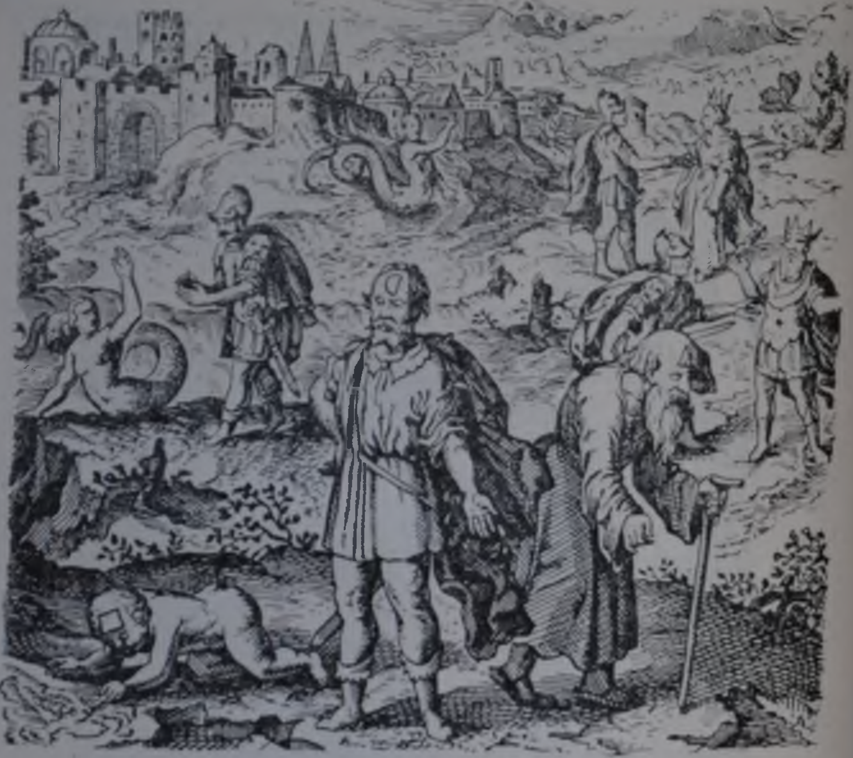
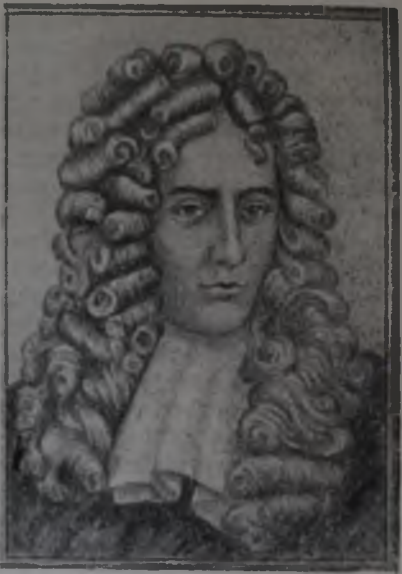


Рис. 29. Символическое алхимическое изображение рождения различных металлов.

она или фальшивая, достойна ли она быть в обращении или нет. Если после тщательного исследования я нахожу, что она хороша, то тот факт, что она долгое время и многими принималась не за настоящую, не заставит меня отвергнуть её. Если же я нахожу, что она фальшивая, то ни изображение и подпись монарха, ни возраст её, ни число рук, через которые она прошла, не заставит меня принять её, и отрицательный результат от одной пробы, которой я сам подверг её, будет иметь для меня гораздо больше значения, чем все те обманчивые вещи, которые я только что назвал, если бы они все доказывали, что она не фальшивая».

В этом духе написана его книга «Скептик-химик, или рассуждение об экспериментах, которые приводятся обыкновенно в доказательство четырёх элементов и трёх химических начал в смешанных телах». В этой книге автор подвергает подробному исследованию различные теории материи, происхождение которых относится к самым отдалённым эпохам древности и которые с тех пор подвергались в своём развитии всевозможным побочным влияниям, так что ко времени Бойля они составляли огромную массу. Каждый постулат обсуждается и, если возможно, подвергается экспериментальной проверке. Если он оказывается правильным, он сохраняется, а если оказывается ложным, то отвергается.


Р. Бойль *(1627—1691).*

В начале книги мы находим положение, которое с давних пор принималось за истину: подобное притягивается к подобному. Бойль опровергает это положение, указывая, что две жидкости, как вода и винный спирт, будучи сходны по своей прозрачности и бесцветности и смешиваясь друг с другом во всех пропорциях, всё же легко могут быть отделены друг от друга замораживанием: когда вода замерзает, винный спирт остаётся жидким. Здесь мы впервые сталкиваемся с экспериментом для выяснения вопроса, который с тех пор в руках Рауля дал столь неожиданно важные результаты. Другой аргумент Бойля сводится к тому, что газы и жидкости, правда, смешиваются друг с другом, но твёрдые тела не имеют к этому склонности и что они даже не пристают друг к другу, кроме тех случаев, в которых прилипание их может быть объяснено формой тел и соответствующим влиянием воздушного давления.

После целого ряда таких нападений Бойль переходит к рассмотрению общепринятой тогда гипотезы, по которой соль, сера и ртуть рассматривались как элементы. Он нападает на эту гипотезу с двух сторон. Во-первых, говорит он, если все вещества состоят из соли, серы и ртути и если животные и растительные вещества содержат, как это утверждается, много ртути, мало серы и очень мало соли, то желательно показать, может ли растение образоваться из вещества, не содержащего ни одного из тех трёх веществ, именно из одной воды — вещества, которое иногда называлось флегмой и относилось к элементам. Для проверки этого он взращивал тыкву в взвешенном количестве земли. Когда тыква стала достаточно большой, Бойль доказал, что она состояла из воды, которую он выделил; далее Бойль также доказал, что земля ничего не потеряла в весе. Доказав это, он с торжеством выступает против «вульгарных спагиристов» (алхимиков) и оспаривает истинность их теории. В настоящее время мы знаем, что для того, чтобы выросла тыква, кроме элементов содержащихся в воде, необходимы ещё другие элементы. Тем не менее, было уже гигантским шагом вперёд доказать, что для этого не нужно ни ртути, ни соли, ни серы. Бойль рассматривал тыкву как одно из превращений воды.

Здесь мы замечаем известный поворот во взгляде на элементы. Это уже не принципы, не основные начала или абстрактные качества материи, а элементы, которые действительно существуют, как особые формы материи и соответствующими процессами могут быть из неё извлечены. Бойль ясно доказал, что элементы эти не всегда обнаруживают одни и те же свойства, что не только «философские» элементы, ртуть и сера, во всех отношениях отличаются от вещества того же имени, но даже один род, полученный перегонкой дерева, совершенно отличается от другого рода, полученного переработкой костей. Он развивал свои доказательства далее, подвергнув дистиллаты вторичной перегонке, т. е. осуществив то, что мы в настоящее время называем фракционной, или дробной, перегонкой. При этом он доказал, что каждый дистиллат делится, в свою очередь, на разнообразные жидкости, различающиеся по своим свойствам. Тут он предвосхищает процесс, который в настоящее время осуществляется в очень большом масштабе, а именно: сухую перегонку дерева, которая даёт уксусную кислоту, древесный спирт и дёготь.

Бойль спрашивал: действительно ли вещества, полученные при перегонке, содержались в том же виде в телах, которые подвергались этой перегонке, как это утверждала теория элементов. Он нашёл, что при перегонке не всегда получаются одни и те же вещества в одном и том же числе, и доказал, что сами продукты не были чистыми, элементарными веществами, а были «смесями». Бойль говорит: «Действительно ли существует определённое число элементов или нет, или, если угодно, все ли сложные вещества состоят из равного числа элементарных начал или составных частей? Мы не можем не усомниться в этом».

Трудно переоценить значение работ Бойля в области химии. Хотя он и первый стал утверждать, что химия совершенно не зависит от всех применений её и должна рассматриваться как часть великой области естествознания, тем не менее и практическая польза, которую принесла человечеству теоретическая и экспериментальная работа Бойля, неоценима. Только начиная с его времени могли возникнуть теории, объяснявшие рутинные методы, по которым работали в мануфактурах, и превратившие усовершенствования и открытия из игры случайности в плод научной работы. Весь прогресс современной промышленности основан на применении научных открытий, которые в свою очередь представляют собой не результаты проб наугад, а плод тщательного и систематического исследования. Отсюда ясно то благотворное влияние, которое оказал Бойль на развитие промышленности своим применением научных принципов.

Общеизвестна также работа Бойля о давлении воздуха, в которой он доказывает, что данное количество воздуха, находясь под давлением в два фунта, занимает вдвое меньше пространства, чем то, которое оно занимало бы в случае давления в один фунт, но подробно останавливаться на этом мы здесь не можем. Если это утверждение не абсолютно точно, то всё же оно достаточно правильно для того, чтобы могло быть обобщено в закон, носящий имя Бойля.

Бойль был ирландцем, родился в графстве Ватерфорд в знатной семье и был седьмым сыном и четырнадцатым ребёнком графа Корка. Воспитывался он сначала дома, а с восьми лет в школе, в Итоне, где Бойль, как он выражается, «забыл по латыне не мало, чему научился дома»; он с таким увлечением предался изучению более солидных отраслей знания, что преисполнился естественной ненавистью к изучению голых слов. В одиннадцать лет его обучение в Итоне было закончено; в сопровождении французского гувернёра мальчик вместе с братом был отослан в Женеву. Здесь он учился в течение двадцати одного месяца, после чего отправился в Италию. В это время дела его отца очень запутались вследствие великого ирландского восстания. Когда он вернулся домой, отца уже не было в живых. Ему достались в наследство два имения; в одном из них в Стальбридже, в Дорсетшире, он и поселился. В 1654 г., на 27-м году жизни, он переехал в Оксфорд, чтобы примкнуть к кружку лиц, образовавших общество, которое было названо философской коллегией. Впоследствии общество это перебралось в Лондон, и в 1663 г. оно было утверждено Карлом II под названием «Королевского общества в Лондоне». Задачей его было «содействие развитию естественных наук».

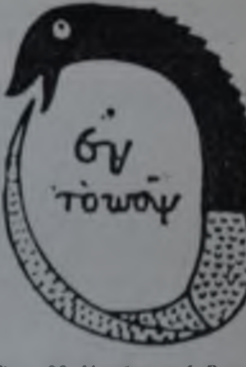


Рис. 30. Уробурос (*«Змея, поймавшая свой хвост»*).

В первых томах «Transactions»[1] мы часто встречаем имя Бойля. Так, 20 марта «господина Бойля просят вспомнить об его опытах с воздухом», а 1 апреля его просят «ускорить предположенное им изменение его воздушного насоса». 15 мая Бойль подарил свою машину обществу, и с ней было произведено много опытов в присутствии членов общества. Вот такими «философскими» делами были наполнены все дни его бедной внешними событиями жизни.

(*«Из истории химии»*, 1920 г.)

---

[1] Журнал, издаваемый Лондонским королевским обществом — Английской академией наук.

ГЛАВА II

СТРОЕНИЕ И ПРЕВРАЩЕНИЕ ВЕЩЕСТВ

> *«...Вся совокупность научных данных не оставляет места для сомнения в существовании атомов и молекул».*
>
> (Ленин, Соч., т. XIII, стр. 226.)

УЧЕНИЕ ДЕМОКРИТА ОБ АТОМАХ

(Фрагменты)

Демокрит — величайший представитель древнегреческой философии, основоположник атомистической философии. Жил Демокрит приблизительно около 460—370 гг. до н. э. Многочисленные путешествия по странам Востока он использовал для научных наблюдений. Поражает широта умственного кругозора Демокрита: ему принадлежат исследования по астрономии, геологии, зоологии, математике, физике, медицине, логике; наряду с этим он писал сочинения об искусстве, музыке и поэзии.

Демокрит (*460—370 до н. э.*).

Атомистическая гипотеза объяснения мира Демокритом сводится к следующим основным положениям:

1. Из ничего не происходит ничего. Ничто существующее не может быть разрушено.

2. Соединение и разъединение атомов лежит в основе видимых нами процессов изменения, возникновения, разрушения, гибели или развития.

3. Ничто не возникает случайно. Всё, что происходит в явлениях, в человеческой жизни, в истории, в развитии животных, в падении твёрдых тел — всё имеет причину, из которой эти явления вытекают с необходимостью.

Благодаря лишь только своему навежеству люди создают такие понятия, как «провидение» или «судьба» и т. п. Над всеми процессами господствует необходимость. Никакой целесообразности, предначертанного кем-то плана в природе нет.

4. Единственно существующие вещи суть атомы и пустое пространство. Всё остальное — чистое измышление.

5. Вследствие мельчайших размеров атомы невидимы и материально неделимы. Они бесконечны по числу, разнообразны по форме и находятся в вечном движении.

6. Вечно движущаяся материя существовала «всегда», поэтому нельзя спрашивать о «начале» её движения, так как движение неотделимо от материи.

7. При своём движении во всех направлениях атомы постоянно сталкиваются друг с другом, и образующиеся при этом поперечные движения и вихри суть начала миров.

8. Разнообразие вещей обусловлено разнообразием их атомов в числе, размерах и сочетаниях.

«Эти принципы, — говорит в своей книге «Электрон» крупнейший современный учёный Р. Милликен, — если в них кое-что немного изменить, выдержали бы экзамен и ныне».

Тит Лукреций Кар[1]

О ПРИРОДЕ ВЕЩЕЙ

Речь я начну и открою вещей основное начало,
Коим всё зиждется, крепнет, растёт и родится в природе;
Также — во что претворяет природа все вещи по смерти.
Это начало — материя, тельца вещей родовые,
Как позволяю себе я назвать то в дальнейшем ученьи,
Или зачатки вещей, — подходящее также названье, —
Или же тельца первичные, так как из них всё возникло.

⁂

Первоначальное правило ставит природа такое:
Из ничего даже волей богов ничего не творится.
Страх суеверный однако же смертных настолько объемлет,
Что и в вещах, наблюдаемых здесь, на земле, и на небе,

---

[1] Тит Лукреций Кар — римский поэт, философ-материалист, живший в I в. до н. э. (родился Лукреций приблизительно в 99 г. и умер в 55 г. до начала нашего летоисчисления). В произведении Лукреция «О природе вещей» («Де рерум натура») с гениальной прозорливостью и догадкой в стихотворной форме изложен ряд положений, ставших лишь много лет спустя достоянием науки, как, например, закон вечности материи и строение вещества из атомов. Здесь даются отдельные отрывки из первой и второй книги этого произведения.

Многое соизволеньем богов объяснять они склонны,
Главной причины явлений добиться никак не умея.
Раз мы уверены в том, что ничто создаваться не может
Из ничего, то вернее поймём мы предмет изученья:
Именно то, из чего могут вещи родиться, а также —
Где, каким образом зиждется всё без участья бессмертных[1].

⁂

Надо заметить ещё: разлагает природа все вещи
На составные частицы, пропасть же ничто в ней не может.

⁂

Не пропадает бесследно ничто, но в своём разложеньи
Все возвращаются вещи на лоно материи снова.

⁂

Как я сказал уже, из ничего не рождаются вещи,
Так же не могут они, народившись, в ничто обратиться.
Чтоб к положеньям моим ты не начал питать недоверья
Лишь потому, что твой глаз этих телец первичных не видит,
Я докажу, что бывают они несомненно в предметах
Даже тогда, когда глаз никакой их не может заметить.
Ветра порывы, во-первых, что волны морские колеблют,
Рушат суда величавые и облака разгоняют,
И одновременно бурей стремительно носятся в поле,
Ниспровергают деревья большие, высокие горы
Точат дыханьем крушительным: так с громыханьем свирепым
И угрожающим рокотом волны морские бушуют.
Да, без сомненья, ветер есть тело, невидное глазу,
Что океаны, и землю, и тучи на небе сметает,
И увлекает внезапно порывом стремительным с места...
Ветры, подобные волнам потока, обломки предметов
В разные стороны мечут и сильным напором толкают,
По временам унося их с собою в вертящихся вихрях.
Ясно нам ныне, что ветры — тела, недоступные взору,
Так как по действиям явным и свойствам подобны потокам:
Эти ж последние суть, очевидно, тела по природе.
Далее. Запахи мы ощущаем от разных предметов,
Не замечая того, чтобы к ноздрям подступало что-либо...
Платья, затем, на морском берегу, разбивающем волны,
Влагу приемлют, на солнце же снова они высыхают.

---

[1] «Бессмертными» древние греки и римляне называли своих богов. *(Состав.)*

Но каким образом влага воды в них проникла, а также
Как испарила ту влагу жара, — невозможно увидеть.
Так на мельчайшие части свои распадается влага,
Их же никоим мы образом глазом не можем заметить.
Так же кольцо, что в течение долгих годов проходящих
Носишь на пальце ты, мало-помалу становится тоньше.
Капель паденье дырявит скалу, а сошник искривлённый
Плуга железного тупится в пашне для глаз незаметно.
Мы замечаем, что улицы, камнем мощёные, часто
Стёрты ногами толпы...

⁂

Но не повсюду материя в мире является тесно
Сплочённой, так как предметы в себе пустоту заключают.
Это узнать тебе будет полезно во всех отношениях.
Чтоб от сомнений не впал ты в ошибку и в розысках долгих
О содержаньи вещей с недоверьем ко мне не отнёсся.
(Есть, несомненно, в природе пустоты, пустые пространства).
Не существуй пустоты — невозможно бы было движенье
Всяких вещей, потому что телам постоянно присуще
Возле себя всё теснить и оказывать сопротивление;
Не в состоянии были б тела и вперёд подвигаться,
Так как тела к ним ближайшие не уступали бы места.
В самом же деле, на море, на суше, на небе высоком
Явственно мы замечаем во всех направлениях движение
Разнообразное; без пустоты же в природе не только
Отнята тотчас была бы способность предметов к движенью,
Но и родиться бы даже ничто не могло в этом мире,
И почивала бы всюду материи плотная масса.

⁂

...Материя частью является в виде первичных
Телец, а частью собрание телец таких представляет.
Тельца первичные те никакою не могут быть силой
Утеснены, так как плотностью всё побеждают своею.

⁂

...Если бы материя не была вечной, давно бы
Весь существующий мир совершенно в ничто обратился,
И из ничтожества снова родилось бы всё, что мы видим.
Но, как уже раньше сказал я тебе, ничего не родится
Из ничего и обратно не может в ничто обратиться.
А потому несомненно бессмертны первичные тельца,
В кои по смерти своей разложиться должно всё на свете,

Чтобы в грядущем материю новым созданьям доставить.
Значит, первичные тельца ввиду простоты своей плотны,
Иначе как бы они сохраняли свою долговечность
И от времён незапамятных миру несли возрожденье?

* * *

...Если б природа творящая не разлагала
Всё то, что создано ею, на части мельчайшие эти,
То из погибших вещей уж создать ничего не могла бы,
Так как в телах, состоящих из многих частей, не бывает
Необходимых условий материи производящей,
Как-то: сцепленья различные, вес, столкновенья, удары,
Также движение, через которое всё возникает.

* * *

Истинно: тельца первичные все при своих сочетаньях
Твёрдым порядком и ясным сознаньем не руководились
И не условились раньше, какое кому дать движенье.
Многообразно меняясь во всём бесконечном пространстве,
Пробуя всякие роды движения и сочетаний,
Силой ударов, толчков непрестанно они потрясались
И, наконец, оказался в тех положеньях, в которых
Вся совокупность вещей сотворённых находится ныне.
Раз сообразное между телами движенье явилось,
То они долгие, многие годы его сохраняют;
И оттого происходит, что реками жадное море
Воды питает свои и что солнцем согретая почва
Новые родит плоды, процветают породы животных
И в небесах, по эфиру блуждая, сияют светила.

* * *

Движутся сами собою первичные тельца.
Вследствие многих толчков незаметных приходят в движенье
Тельца, которые малы и сплочены менее тесно
И как бы больше доступны воздействию сил первобытных.
Дальше, затем возбуждаются тельца немного крупнее;
И таким образом всё возрастает движение, доколе
Нашему чувству не даст себя знать в том блужданьи
Маленьких телец, которые можем в лучах мы увидеть,
Но от каких происходит толчков это, — нам незаметно.

* * *

В этих вопросах и то не должно возбуждать удивления,
Что при таком непрерывном движении телец первичных

Вся совокупность вещей представляется нам неподвижной,
Кроме существ, коим свойственно двигаться собственной силой.
Телец первичных природа под спудом таится от чувства
Нашего очень далеко. А всё-таки там, где не можешь
Видеть движения ты, в виде скрытом оно происходит.
Даже те вещи, которые можем мы видеть, от взора
Нашего часто скрываются на расстоянии далёком.
Часто по склонам холмов шерстоносные овцы плетутся,
Пищу срывая обильную. Каждую там привлекает
Зелень травы изумрудной, покрытая свежей росою.
Сытые тут же резвятся ягнята, бодая друг друга.
Всё это издали кажется нам как бы слившимся вместе,
Будто пятном беловатым на поле зелёного склона.

(*«О природе вещей»*, перев. *И. Рачинского*, 1933 г.)

М. В. Ломоносов

СЛОВО О ПОЛЬЗЕ ХИМИИ

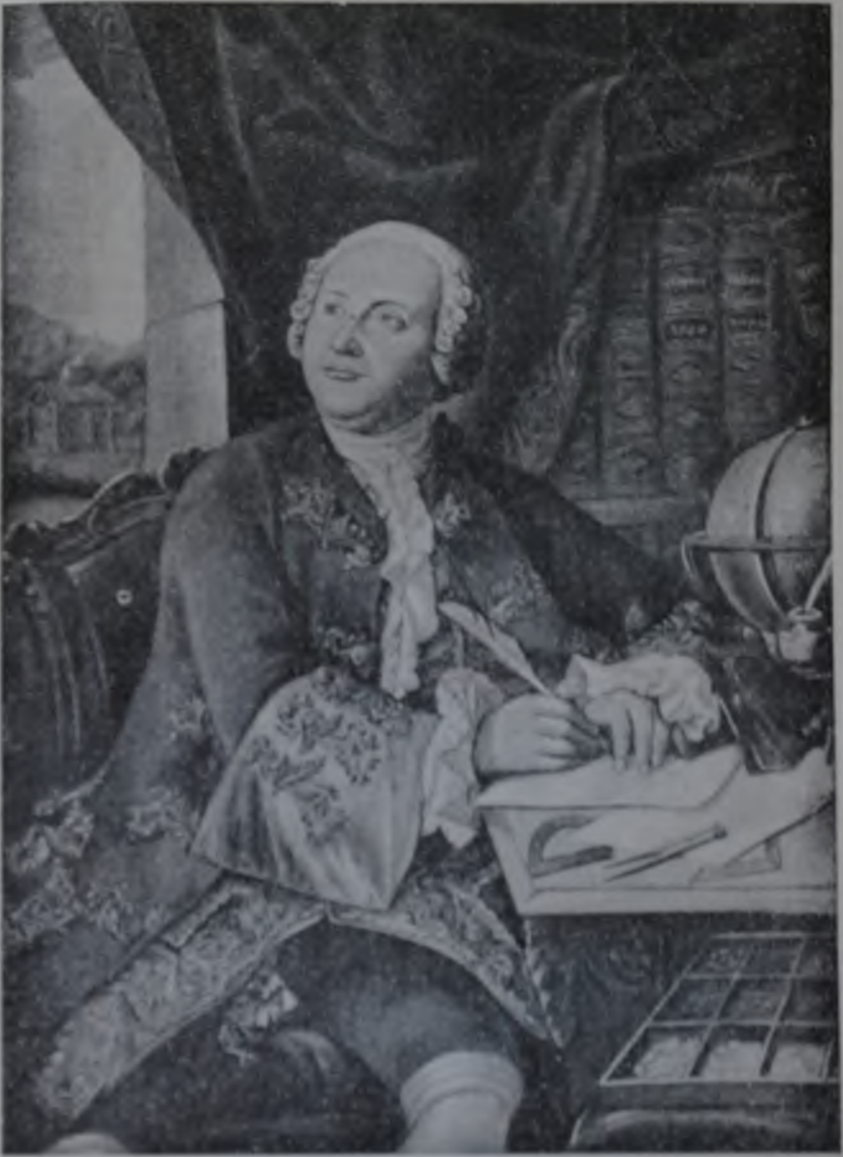
В ПУБЛИЧНОМ СОБРАНИИ ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК СЕНТЯБРЯ 6 ДНЯ 1751 ГОДА ГОВОРЕННОЕ МИХАЙЛОМ ЛОМОНОСОВЫМ

«Учением приобретенные познания разделяются на науки и художества. Науки подают ясное о вещах понятие, и открывают потаенные действия и свойств причины; художества к приумножению человеческой пользы оные употребляют... Науки художествам путь показывают; художества происхождение наук ускоряют. Обои общею пользою согласно служат. В обоих сих коль велико и коль необходимо есть употребление Химии, ясно показывает исследование Натуры и многие в жизни человеческой преполезные художества...

...Натуральные вещи рассматривая, двоякого рода свойства в них находим. Одно ясно и подробно понимаем; другие хотя ясно в уме представляем, однако подробно изобразить не можем. Первого рода суть величина, вид, движение и положение целой вещи; второго цвет, вкус, запах, лекарственныя силы и протчия. Первыя через Геометрию точно размерить и через Механику определить можно; при других такой подробности просто употребить нельзя: для того что первыя в телах видимых и осязаемых, другие в тончайших и от чувств наших удаленных частицах свое основание имеют. Но к точному и подробному познанию какой-нибудь вещи должно знать части, которыя оную составляют. Ибо как можем рассуждать о теле человеческом, не зная ни сложения костей и составов для его укрепления, ни союза, ни положения мышцей для движения, ни распростертия нервов для чувствования, ни расположения внутренностей для приуготовления питательных соков, ни протяжения жил для обращения крови, ни протчих органов сего чуднаго строения? Равным образом и вышепоказанных второго рода качеств подробного понятия иметь невозможно, не исследовав самых малейших и неразделимых частиц, от коих они происходят, и которых познание толь нужно есть испытателям Натуры, как сами оныя частицы к составлению тел необходимо потребны. И хотя в нынешние веки изобретенные микроскопы силу зрения нашего так увеличили, что в едва видимой пылинке, весьма многие части ясно распознать можно; однако сии полезные инструменты служат только к исследованию органических частей, каковы суть весьма тонкие и невидимые простым глазом пузырьки и трубочки, составляющия твердыя части животных и растущих вещей; а тех частиц, из которых состоят смешанныя материи, особливо зрению представить не могут. Например, через Химию известно, что в киноваре есть ртуть, и в квасцах земли белой, ни сквозь самые лутчие микроскопы видеть нельзя; но когда в них тотже вид кажется. И посему познание оных только через Химию доходить должно.

Здесь вижу я, скажете, что Химия показывает только материи, из которых состоят смешенныя тела, а не каждую их частицу особливо. На сие отвечаю, что подлинно по сие время острое исследователей око толь дальче во внутренности тел не могло проникнуть. Но ежели когда нибудь сие таинство откроется, то подлинно Химия тому первая предводительница будет; первая откроет завесу внутреннейшего сего святилища натуры. Математики по некоторым известным количествам неизвестных дознаются. Для того известныя с неизвестными слагают, вычитают, умножают, разделяют, уравнивают, превращают, переносят, переменяют и наконец искомое находят. По сему примеру рассуждая о бесчисленных и многообразных переменах, которыя смешением и разделением разных материй Химия представляет, должно разумом достигать потаеннаго безмерною малостию виду, меры, движения и положения первоначальных частиц, смешенныя тела составляющих...

Равным образом прекрасныя Натуры рачительный любитель, желая испытать толь глубоко сокровенное состояние первоначальных частиц, тела составляющих, должен высматривать все оных свойства и перемены, а особливо те, которыя показывает ближайшая ея служительница и наперсница, и в самые внутренние чертоги вход имеющая Химия: и когда она разделенныя и рассеянныя частицы их растворов в твердыя части соединяет, и показывает разныя в них фигуры; выспрашивать у осторожной и догадливой Геометрии: когда твердыя тела на жидкия, жидкия на твердыя переменяет, и разных родов материи разделяет и соединяет; советовать с точною и замысловатою Механикою: и когда



М. В. Ломоносов *(1711—1765).*

через слитие жидких материй разные цветы производить; выведывать через проницательную Оптику. Таким образом, когда Химия пребогатыя госпожи своея потаенныя сокровища разбирает, любопытный и неусыпный Натуры рачитель оныя через Геометрию вымеривать, через Механику развешивать и через Оптику высматривать станет; то весьма вероятно, что она желаемых тайностей достигнет.

Здесь уповаю еще вопросить желаете; чего ради по сие время исследователи естественных вещей в сем деле столько не успели? На сие ответствую, что к сему требуется весьма искусной Химик и глубокой Математик в одном человеке. Химик требуется не такой, который только из одного чтения книг понял сию науку; но которой собственным искусством в ней прилежно упражнялся: и не такой напротив того, который хотя великое множество опытов делал; однако больше желанием великаго и скоро приобретаемаго богатства поощряясь, спешил к одному только исполнению своего желания, и ради того последуя своим мечтаниям, презирал случившиеся с трудах своих явления и перемены; служащия к истолкованию естественных таин. Не такой требуется Математик, который только в трудных выкладках искусен; но который в изобретениях и в доказательствах привыкнув к Математической строгости, в Натуре сокровенную правду точным и непоползновенным порядком вывесть умеет. Бесполезны тому очи, кто желает видеть внутренность вещи, лишаясь рук к отверстию оной. Бесполезны тому руки, кто к рассмотрению открытых

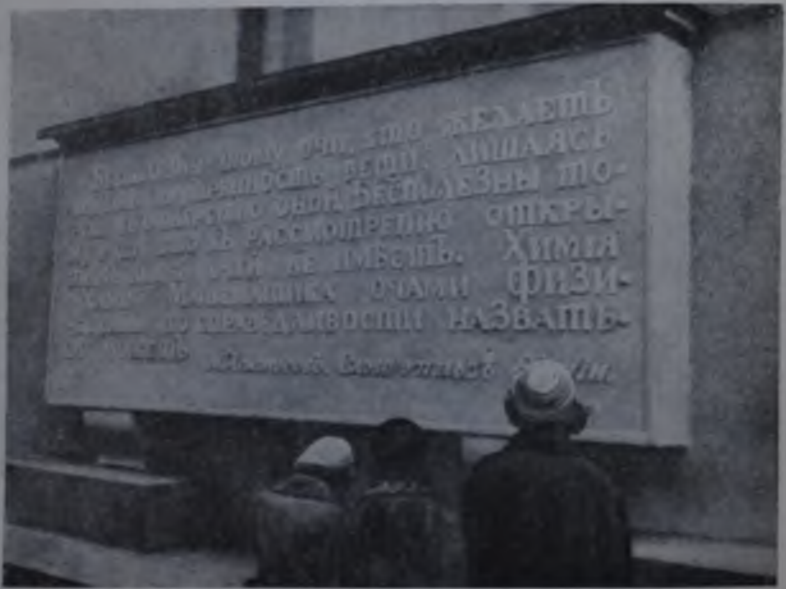


Рис. 31. Мемориальная доска в честь М. В. Ломоносова на стенах института имени Карпова (Москва).

вещей очей не имеет. Химия руками, Математика очами Физическими по справедливости назваться может. Но как обе в исследовании внутренних свойств телесных одна от другой необходимо помощи требуют; так напротив того умы человеческие нередко в разные пути отвлекают. Химик видя при всяком опыте разныя и часто нечаянныя явления и произведения, и приманиваясь тем к снисканию скорой пользы, Математику как бы только в некоторых тщетных размышлениях о точках и линеях упражняющемуся смеется. Математик напротив того уверен о своих положениях ясными доказательствами, и чрез неоспоримыя и безпрерывныя следствия выведя неизвестныя количеств свойства. Химика как бы одною только практикою отягощенного и между многими беспорядочными опытами заблуждающаго презирает; и приобыкнув к чистой бумаге и к светлым геометрическим инструментам, Химическим дымом и пеплом гнушается. И для того по сие время сии две общею пользою так соединенныя сестры толь разномысленных сынов по большей части раждали. Сие есть причиною, что совершенное учение Химии с глубоким познанием Математики еще соединено не бывало. И хотя в нынешнем веку некоторые в обоих науках изрядные успехи показали, однако сие предприятие выше сил своих почитают: и для того не хотят в испытании помянутых частиц с твердым намерением и постоянным рачением потрудиться: а особливо когда приметили, что некоторые,

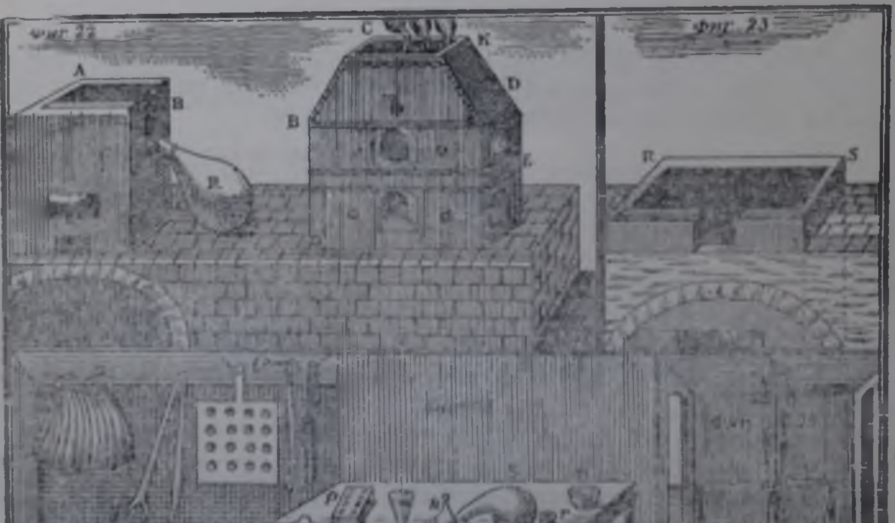


Рис. 32. Проект первой химической лаборатории Академии наук.

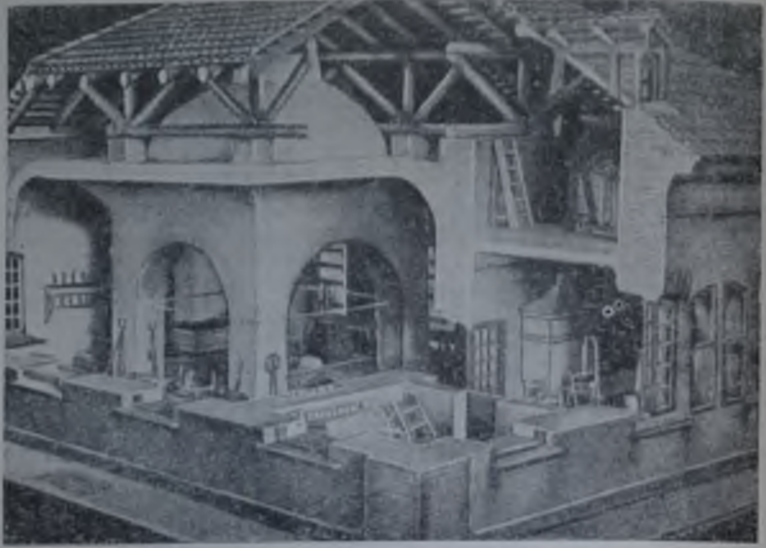


Рис. 33. Макет химической лаборатории, построенной по проекту М. В. Ломоносова.

с немалою тратою труда своего и времени, пустыми замыслами и в одной голове родившимися привидениями Натуральную науку больше помрачили, нежели свету ей придали.

(*«Физико-химические работы»,* 1923 г.)

М. В. Ломоносов

ПРОЕКТ О УЧРЕЖДЕНИИ ХИМИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ ПРИ ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК[1]

1) Для способнейшаго учреждения химических действий и опытов должно построить особливую хоромину, длиною в 6, а шириною в 4 сажени, и оную разделить на две части, из которых бы одна шириною была в 2, длиною в 4 сажени.

2) В большей половине по середке поставить очаг с кожухом и трубою, который в длину должен быть 2, а в ширину

---

[1] Этот проект был подан Ломоносовым в Академию наук в марте 1745 г. Программа работ, изложенная в «Проекте», поражает своей обширностью и глубиной, необычной для того времени. *(Состав.).*

1½ сажени. Кожух над очагом поставить на четырёх толстых железных прутах и укрепить на верху между потолочными брусьями на боутах. А на потолке под кровлею будет место, куда ставить посуду и класть уголье.

3) В меньшей половине поставить шкапы и полки для поклажи разных материалов, мелких инструментов и нужных химических книг. А для зимняго времени печь и для записки химических опытов стол.

4) Какия печи и другие нужные мелкие пристройки, посуды и материалы к тому надобны, то видно отчасти в приложенном при сем плане, а о прочем могу подать в Академию наук особливый реестр, когда оная того потребует.

5) В химических действиях намерен я поступать таким порядком: 1. Нужныя в химических трудах употребительныя натуральныя материи сперва со всяким старанием вычистить, чтобы в них никакого постороннаго примесу не было, от котораго в других действиях обман быть может. 2. Вычищенныя материи разделять, сколько можно, на те, из которых оне натурально сложены. 3. Для лучшаго доказательства, что разделенныя материи из оных простых состоят, намерен оныя снова соединять сколь возможно. 4. Разныя натуральныя и сделанныя материи соединять разными химическими способами для произведения новых действий и материй, которыя могут часто пользовать в познании натуры и к приращению художеств. 5. Сделанные от химиков важные опыты, которые хотя и вероятны, однако несколько сомнительны, или у которых нужныя обстоятельства неточно описаны, повторять, и тем их справедливость или подлог исследовать.

6) Я не токмо в разных авторах усмотрел, но и собственным искусством удостоверен, что химические эксперименты, будучи соединены с физическими, особливыя действия показывают. Напр., крепкая водка при распущении металлов без воздуха инако действует, нежели на воздухе. Для того было бы весьма полезно: 1. Опыты, которые без воздуха делать можно, чинить в колбах или ретортах, из которых воздух вытянут; к чему можно сделать особливый небольшой инструмент, чтобы без переносу и повреждения антлии можно было и в ней прикреплять помянутые химические сосуды. 2. Самородных и сделанных материй исследовать пропорциональную тягость. 3. Части мелких материй и все, что возможно и прилично покажется, смотреть сквозь прибыльныя стекла. Сверх сего к химическим опытам присовокуплять, где возможно, оптические, магнитные и электрические опыты, к чему нужные инструменты можно брать на время из физической палаты, или и нарочные к оному сделать.

7) При всех помянутых опытах буду я примечать и записывать не токмо самыя действия, вес или меру употребляемых к тому материй и сосудов, но и все окрестности, которыя надобны

быть покажутся, а в нужных случаях для лучшаго изъяснения присовокуплять рисунки. А все сие предлагать Академии наук в форме химическаго журнала по каждую четверть года.

Академии наук адъюнкт Михайло Ломоносов.

С. А. Балезин

ВЕЛИКИЙ РУССКИЙ ХИМИК М. В. ЛОМОНОСОВ

Михаил Васильевич Ломоносов принадлежит к тому кругу немногочисленных учёных в истории мировой науки, чьё имя связано с развитием ряда наук и разработкой широких научных обобщений в области естествознания в целом.

В своей научной деятельности Ломоносов был выразителем передовых направлений современной ему науки. Он внёс неоценимый вклад почти во все отрасли знания: физику, химию, астрономию, приборостроение, геологию, географию, языкознание и историю. Он является зачинателем многих химических производств, автором фундаментальных законов физики и химии: закона сохранения массы вещества и закона сохранения энергии, — основоположником механической теории тепла и кинетической теории газов, создателем научных основ химической науки и новой области знаний — физической химии. Достигнутое им было бы достаточно для деятельности целой академии.

А. С. Пушкин, характеризуя Ломоносова, писал: «Соединяя необыкновенную силу воли с необыкновенною силою понятия, Ломоносов обнял все отрасли просвещения. Жажда науки была сильнейшей страстью сей души, исполненной страстей. Историк, ритор, механик, химик, минеролог, художник и стихотворец — он всё испытал и всё проник». «Он создал первый университет. Он, лучше сказать, сам был первым нашим университетом»[1].

М. В. Ломоносов — гордость русской науки, воплотивший в себе народный гений, широту и силу русского характера. Он на все века оставил своей родине пример того, как наука может и должна служить своему народу.

Научная деятельность М. В. Ломоносова протекала в послепетровскую эпоху, которая была связана с развитием производительных сил нашей страны. В своей попытке вывести Россию из рамок отсталости Петр I строил новые заводы и фабрики, насаждал в России образование, создавал вооружение нового типа. М. В. Ломоносов писал, отмечая деятельность Петра I в области развития науки в России: «Петр I усмотрел, что нельзя ни городов надежно укрепить, ни кораблей построить, и безопасно пустить в море, не употребляя математики; ни оружия, ни огнедышащих машин, ни лекарств, поврежденным в сражении воинам, без физики приготовить».

---

[1] А. С. Пушкин, т. VII, изд. АН СССР, 1949, стр. 28.

Бурное развитие и укрепление промышленности, торговли и техники прежде всего характеризуется увеличением количества заводов, особенно на Урале. Развитие промышленности, торговли и техники военного дела естественно вызвало интерес и потребность в развитии науки. В этот период создаётся ряд учебных заведений и научных учреждений. Так, в Москве в 1701 г. открывается Навигацкая школа для подготовки кадров по судоходному делу; в 1706 г. Первая медицинская школа, в 1711 г. Инженерная школа и в 1712 г. Артиллерийская школа; в 1721 г. в Петербурге создаётся Морская академия и, наконец, Петром I была основана и подготовлена к открытию Петербургская (впоследствии Российская) Академия наук.

Все эти школы и академии нуждались в преподавательских и научных кадрах. Правящие классы при подготовке специалистов ориентировались прежде всего на дворянское сословие. Однако по окончании той или иной школы или академии мало кто из дворянских детей оставался работать в стенах научных и учебных учреждений. Объясняется это тем, что представители высшего сословия предпочитали военную и государственную службу, продвижение по которым давало им чины и привилегированное положение в обществе. Поэтому в качестве учителей приходилось приглашать иностранцев и обращаться к выходцам из других сословий: духовенства, чиновников и даже крестьян. Для подготовки кадров при Академии наук были созданы университеты и гимназии. Однако желающих учиться в этих учебных заведениях из числа дворян почти не оказалось. В результате этого состав первых гимназистов и студентов был исключительно недворянский.

Это, естественно, оказывало непосредственное влияние и на состав учащихся как академического, так и открывшегося в 1755 г. Московского университета. Комплектование студентов академического университета производилось не только из числа учащихся академической гимназии. Сюда откомандировывались на учёбу приказами Сената также ученики Московской славяно-греко-латинской академии, Петербургской и Новгородской духовных семинарий и других учебных заведений России. Нередко в академический университет приглашались иностранцы. В числе их были замечательные математики Д. Бернулли и Л. Эйлер. Однако большинство членов академической коллегии не соответствовало по своей квалификации тем задачам, которые предстояло разрешить Академии наук. Химическая кафедра в доломоносовский период возглавлялась случайными людьми. Так, первый профессор (академик) по кафедре химии Бюргер был доктором медицины, состоял в штате академии менее 5 месяцев (март—июль 1726 г.) и фактически к работе не приступал. Приглашённый вслед за ним на кафедру химии И. Гмелин, по специальности ботаник, химией почти не занимался.

Вслед за этими первыми академиками-иностранцами появляется ряд первых русских академиков, научная деятельность и исследования которых приносят им мировую известность.

Подавляющее большинство русских академиков были выходцами из разных недворянских сословий: первый русский академик М. В. Ломоносов — сын крестьянина, В. М. Севергин — сын вольноотпущенного, С. П. Крашенинников, Н. П. Соколов, Н. Я. Озерецковский, В. В. Петров, Иноходцев, Протасов, Котельников — выходцы из среды духовенства и т. д. Таким образом, в Академии наук до середины XIX в. половина состава академиков по разделу естественных наук были выходцами из духовенства, менее одной четверти — из дворян, остальные были сыновья солдат, мастеровых и крестьян. Такое же соотношение в профессорско-преподавательском составе этого периода имело место и в Московском, и других университетах. Университеты стали рассадниками наиболее прогрессивных демократических и революционных идей, что вызывало тревогу у царского правительства и правящих классов. В ранний период развития науки в России патриотические и демократические настроения наиболее ярко проявились в деятельности первого русского академика М. В. Ломоносова.

Михаил Васильевич Ломоносов родился в ноябре 1711 г. в семье крестьянина-помора Василия Дорофеевича Ломоносова, в одном из отдалённых уголков бывшей Архангельской губернии — в деревне Денисовке, Куростровской волости, недалеко от г. Холмогор.

В детстве Ломоносов вместе с отцом принимал участие в рыбной ловле и выполнял тяжёлую крестьянскую работу. Вместе с отцом на небольшом судне, названном «Чайкой», он побывал на Северной Двине, Белом море и Северном Ледовитом океане.

Будучи от природы весьма наблюдательным, Ломоносов подмечал особенности жизни и природы края и быта его обитателей. Из рассказов поморов он узнал об удивительных костях вымерших животных, которые находили по берегам, и в своём воображении создавал фантастические образы животных, некогда населявших землю. Такие природные явления, как северное сияние, разливы Северной Двины, разрушавшие речные берега и ледяные горы Северного океана, сохранились на всю жизнь в его памяти.

Разъезжая с отцом, он познакомился с различными производствами. Особенно большое впечатление произвели на него верфи Северной Двины, где строились военные и торговые корабли. Побывал он и на приморских солеварнях Северного моря и хорошо изучил производство соли. Поэтому понятен тот интерес к промышленности, который сохранился у Ломоносова на всю жизнь.

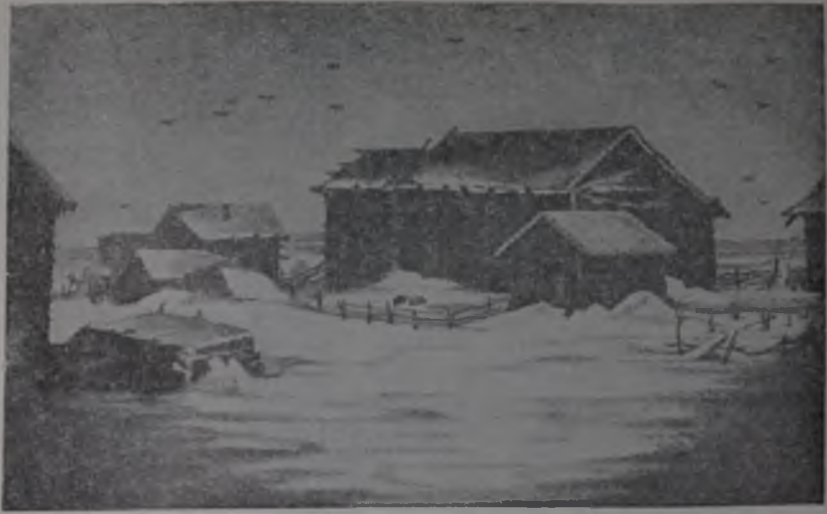


Рис. 34. Деревня Денисовка — родина М. В. Ломоносова.

Грамоте Ломоносов научился рано у своего односельчанина Ивана Шубного. Особенно увлекали его грамматика Смотрицкого и арифметика Магницкого, которые он называл «вратами своей учености». Большое влияние оказала на него арифметика Л. Ф. Магницкого, где не только излагались правила простейших математических исчислений, но и сообщались некоторые сведения по физике, геометрии, судоходству, астрономии и т. д.

Чтение таких книг для Ломоносова было большой радостью и будило в нём непреодолимое стремление к знанию, которое он не мог удовлетворить у себя на родине. Это заставило его уйти из родного дома. Зимой 1730 г. он отправился в Москву, где поступил в основанную в 1664 г. Славяно-греко-латинскую академию. Эта академия была высшим учебным заведением в России того времени и снискала себе широкую известность. Из её стен вышли такой выдающийся учёный и педагог того времени, как Магницкий, замечательный русский сатирик Кантемир, поэт Тредьяковский и другие.

Ломоносов с увлечением занимался в академии, но знания, которые он там получил, его не удовлетворили, так как в академии того времени не изучались естественные науки. Ломоносов добивался откомандирования его во второе высшее учебное заведение России — Киевскую духовную академию. Но и она не оправдала его надежд. Неудовлетворённым возвратился Ломоносов из Киева снова в Москву. По окончании академии он в числе 12 лучших её учеников был направлен в Петербург для продления обучения в академическом университете. В университете он обучался немецкому языку, математике, риторике, географии, истории.

В это время в Сибири работала академическая экспедиция, изучавшая природу и минеральные богатства края. Для работы в этой экспедиции требовались специалисты-химики, знакомые с основами металлургии и горного дела. Было решено подготовить таких специалистов, послав наиболее способных студентов университета за границу. Студентами, посланными в Германию, были М. В. Ломоносов, Д. И. Виноградов, впоследствии основатель фарфорового производства в России, и Г. Райзер.

Для освоения горного дела нужны были знания по математике, механике, физике, химии. Поэтому русские студенты сначала были направлены для обучения в Марбург к крупному естествоиспытателю и философу Христиану Вольфу с тем, чтобы, освоив эти науки, затем они отправились в Фрейберг к профессору Генкелю, у которого и изучили бы горное и рудное дело.

В Марбурге у Вольфа Ломоносов и его товарищи изучали математику, механику, гидростатику, гидравлику, маркшейдерское дело[1], физику, логику, философию, геометрию, тригонометрию, немецкий и французский языки. Ломоносов с большим успехом изучал эти науки.

Освоив метод своего учителя философа Вольфа, к которому он всю жизнь относился с большим уважением, он не сделался его подражателем. Ему была чужда идеалистическая реакционная сторона философии Вольфа, очень близкая взглядам немецкого философа-идеалиста Лейбница. В своей работе, написанной в то время, когда он был ещё студентом, «О различии смешанных тел, состоящем в сцеплении корпускул, которую для упражнения написал Михайло Ломоносов», ясно проявилась мысль, разработкой которой он в дальнейшем занимался всю жизнь — понять и объяснить качества тел на оновании изучения свойств материальных частиц, из которых они состоят. Эта диссертация была довольно высоко оценена в академических кругах Петербурга.

Трёхлетнее пребывание в Марбурге расширило круг знаний Ломоносова. Здесь он познакомился с достижениями европейской науки того времени, и это подготовило его к дальнейшей научной и практической деятельности.

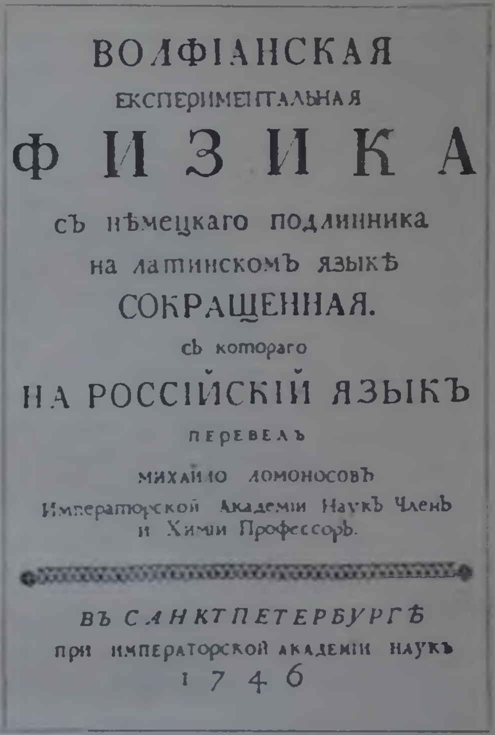
Нужно отметить, что Ломоносов чрезвычайно критически относился к тому, что узнавал, отбирая истинное и достойное и отбрасывая ложное и вредное. Во всех своих дальнейших работах Ломоносов всегда шёл своим путём, не изменяя своих взглядов, даже если они расходились с мнениями величайших авторитетов того времени.

---

[1] *Маркшейдер* — специалист по съёмке планов подземных рудников и горных выработок.

После Марбурга Ломоносов вместе со своими товарищами в 1739 г. переехал в Фрейберг в лабораторию Генкеля. Способ обучения Генкеля, а также его научные взгляды резко расходились с уже выработанными Ломоносовым взглядами, вследствие чего он скоро покинул Фрейберг и в 1741 г. возвратился в Петербург.

Оценивая заграничную командировку Ломоносова, Б. Н. Меншуткин писал: «Он (Ломоносов) в совершенстве знал, кроме русского и церковнославянского языков, латинский, немецкий, французский, на которых свободно писал, а также мог читать книги и на других языках». Во время этой командировки Ломоносов усвоил необходимые математические сведения, философию и логику, физику, минералогию, рудные ископаемые, ботанику и зоологию; познакомился и с рядом прикладных наук, в частности с металлургией в широком смысле этого слова, начиная с рудного дела и кончая обработкой металлов и пробирным делом. Знал он и стекольное производство, мореходное дело, астрономию, географию, риторику, грамматику, историю, политическую экономию и т. д. Можно сказать, что за годы ученья Ломоносов сформировался во всестороннего учёного, с большим научным кругозором, знанием промышленности, что подготовило его в дальнейшем к самостоятельной работе.



ВОЛФІАНСКАЯ
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ
ФИЗИКА
съ нѣмецкаго подлинника
на латинскомъ языкѣ
СОКРАЩЕННАЯ.
съ котораго
НА РОССІЙСКІЙ ЯЗЫКЪ
ПЕРЕВЕЛЪ
МИХАЙЛО ЛОМОНОСОВЪ
Императорской Академіи Наукъ Членъ
и Химіи Профессоръ.

ВЪ САНКТПЕТЕРБУРГѢ
при Императорской Академіи Наукъ
1746

Рис. 35. Титульный лист «Вольфианской экспериментальной физики».

В январе 1742 г. Ломоносов был назначен адъюнктом[1] академии, а в 1745 г. — профессором химии. Назначение Ломоносова профессором улучшило его материальное положение и дало возможность более широко развернуть научную и исследовательскую работу.

---

[1] *Адъюнкт* — в дореволюционной России лицо, занимающее младшую научную должность, помощник профессора или академика.

В этот период он переводит на русский язык курс физики своего учителя Вольфа, который вышел под названием «Вольфианская экспериментальная физика». При выполнении этого перевода Ломоносов столкнулся с бедностью научного русского языка того времени. Он был вынужден подыскивать слова для обозначения некоторых «физических инструментов, действий и натуральных вещей». Таким образом, Ломоносов является основоположником русской научной терминологии, которая сохранилась и до нашего времени. Такие слова, как термометр, формула, поршень, упругость, полюс магнита, преломление лучей и другие, были введены в науку Ломоносовым.

Лаборатория, на постройку которой Ломоносов затратил много сил, нуждалась в оборудовании. Ломоносов оборудовал её не только химическими, но и физическими приборами, потому что «химик без знания физики подобен человеку, который во всем искать должен ощупом...» Здание и оборудование лаборатории было на уровне техники того времени. Эта первая химическая лаборатория стала колыбелью русских лабораторий, в первую очередь химических и физических. Здесь были разработаны основные законы этих наук и впервые в истории русской науки читался созданный Ломоносовым «Курс истинной физической химии». Здесь же были проведены работы по изучению минеральных богатств России, заложены основы химии силикатов, разрабатывались методы получения цветных стёкол, которые затем выпускались организованным Ломоносовым заводом в Усть-Рудице.

Творческую деятельность Ломоносова можно условно разделить на три периода. Первый период — с 1741 по 1748 г., т. е. до постройки химической лаборатории. Этот период был посвящён главным образом теоретическим исследованиям в области физики.

Второй период охватывает время от постройки химической лаборатории до 1757 г. В эти годы Ломоносов в основном занимался решением различных вопросов теоретической и экспериментальной химии.

И, наконец, третий период — это период с 1757 г. до смерти Ломоносова. В течение этого времени Ломоносов, помимо общих занятий, уделял много времени работам в области различных прикладных наук и административной деятельности.

Несмотря на разнообразие научных интересов, Ломоносов придавал очень большое значение своим химическим и физическим исследованиям. В своём письме Шувалову от 4 января 1753 г. он писал: «Что же до других моих в физике и химии упражнений касается, чтобы их вовсе покинуть, то нет в том ни нужды, ниже возможности».

В предисловии к переводу «Эксперметальной физики» Вольфа он писал: «Изыскание причины цветов... мне всегда было приятнее всех физических исследований, особливо же для того, что оно больше всего зависит от химии, моей главной профессии».

Капитальные работы Ломоносова, такие, как «О нечувствительных физических частичках, составляющих тела природы», «О причине теплоты и холода», «Попытка теории упругой силы воздуха», «Элементы математической химии», «О действии растворителей» и др., характеризуют его как физика и химика, как основоположника теоретических основ химических и физических наук.

Ломоносов — основоположник химической науки и атомно-молекулярной теории строения вещества

В замечательном труде «Элементы математической химии», написанном Ломоносовым в 1741 г., чётко сформулированы положения о химии как науке, её содержании, о методе и связи химии с другими науками.

В первом параграфе этой работы Ломоносов даёт следующее определение химии: «Химия — наука изменений, происходящих в смешанном теле, поскольку оно смешанное»[1].

И далее он раскрывает содержание этой науки. «Практическая часть химии состоит в историческом познании изменений смешанного тела... Теоретическая часть химии состоит в философском познании изменений смешанного тела (§ 4 и 7). Истинный химик должен быть теоретиком и практиком (§ 13)».

Чтобы понять значение такого определения химии и её задач, необходимо напомнить, что во всех учебниках и научных работах того времени химия рассматривалась только как искусство изготовления различных веществ и описания свойств природных и искусственно полученных тел, т. е. химия была ремеслом, лишённым теоретических основ.

Следовательно, Ломоносов первый поставил химию в ряд наук и 200 лет назад дал её определение, соответствующее современному.

С именем Ломоносова связана организация лабораторно-научных исследований в России. Несмотря на явное сопротивление со стороны фактического в то время управителя академией Шумахера и возглавлявшейся им немецкой группировки, Ломоносов в 1748 г., после семилетней борьбы с Шумахером, организовал первую в России научно-химическую лабораторию, которая одновременно служила и учебным целям.

Сопротивление Шумахера и немецкой группировки Ломоносов объяснял следующим: «Шумахеру было опасно происхождение науки и произвождение в профессоры природных россиян, от которых он уменьшения своих сил больше опасался, того ради учение и содержание российских студентов было в таком небрежении, по которому ясно оказывалось, что не было у него намерение их допустить к совершенству учения».

---

[1] Цитируется по книге Б. Н. Меншуткина «Труды М. В. Ломоносова по физике и химии», изд. АН СССР, 1936.

Вся научная деятельность Ломоносова неразрывно связана с развитием химической науки в России.

Ломоносов не только определил положение химии среди наук, но и разработал методы этой науки. Именно он, Ломоносов (а не Лавуазье, как утверждают авторы некоторых работ по химии), первый сделал основой химической науки количественный метод. Он ввёл метод точных измерений «веса, меры и пропорций».

«При всех упомянутых опытах, — пишет он в программе своих работ по физике и химии, — я буду примечать и записывать не токмо само действие — вес или меру употребляемых к тому материй или сосудов, но и все окрестности, которые надо бы быть покажутся».

Достижения химической науки он связывал с решением практических задач. Эту мысль он ясно выражает следующими словами: «Широко распростирает химия руки свои в дела человеческие», и поясняет её такими примерами: «Химия, выжимая из трав и цветов соки, вываривая коренье, растворяя минералы, и разным образом их между собой соединяя... тем сколько нас украсила...»[1]. И далее Ломоносов указывает, что ни одно художество, т. е. промышленное производство и искусство, не может обходиться без химии.

Ломоносов не только поставил химию в ряд наук, не только ввёл количественный метод, сыгравший исключительно большую и благотворную роль в развитии химии, но и создал теоретические основы для развития этой науки. Именно Ломоносову — великому гению русского народа — принадлежит создание основ атомно-молекулярной теории строения вещества, являющейся фундаментом прогрессивного развития химической и физической науки.

В упомянутом выше труде «Элементы математической химии» Ломоносов пишет, что все изменения тел происходят посредством движения, и далее доказывает, что без движения нельзя представить никакого изменения. В основе этого движения лежат элементы (по-современному — атомы), которые, соединяясь между собой, образуют корпускулы (молекулы по-современному). «Элемент есть часть тела, не состоящая из каких-либо меньших и отличных между собою тел». «Корпускулы есть собрание элементов в одну небольшую массу...» «Корпускулы однородны, если состоят из одинакового числа одних и тех же элементов, соединенных одинаковым образом...» «Корпускулы разнородны, когда элементы их различны и соединены различным образом или в различном числе; от этого зависит бесконечное разнообразие тел»[2].

И далее: «Начало есть тело, состоящее из однородных корпускул. Смешанное тело есть то, которое состоит из двух или нескольких различных начал, так соединенных между собой, что каждая отдельная его корпускула имеет такое же отношение частей тела, из которых тело состоит...»

---

[1] Полное собрание сочинений, т. 1, изд. АН СССР, 1951, стр. 73.

[2] Полное собрание сочинений, т. 2, изд. АН СССР, 1951.

Ломоносов все физические и химические явления в природе рассматривал с точки зрения этой теории.

Корпускулы, состоящие из элементов, находятся в движении, чем и определяются, по мнению Ломоносова, все изменения тел. Химические превращения могут быть изучены только методами математики, физики, химии, тесно связанными между собой. Он вводит впервые понятие «элемента» как простейшей частицы вещества. Вводя понятие корпускулы, он считает их сложенными из элементарных частиц. Корпускулы химически различны, если составляющие их частицы элементов различны или различно сложены. Агрегатное состояние тела поэтому определяется разным способом связи частиц.

Таким образом, Ломоносов одной из причин различия химических веществ считает различное расположение элементов в корпускуле.

Если мы заменим в рассуждениях Ломоносова корпускулы молекулами, а элементы атомами, то перед нами вырисовывается современная молекулярно-атомная теория строения вещества.

Нетрудно видеть, изучая произведения Ломоносова, что все его работы по химии, физике и естественным наукам основаны на этой теории. Следовательно, Ломоносов является основоположником атомно-молекулярной теории, а не Дальтон, который лишь спустя 60 с лишним лет ввёл в химию понятие атома. Необходимо отметить, что атомистика Дальтона стоит намного ниже воззрений Ломоносова. Дальтон не поднялся до уровня идей Ломоносова, он не видел различия между молекулой и атомом.

Так, например, у Дальтона мы читаем: «Если имеются два тела *A* и *B*, склонных соединяться между собой, то реакция будет протекать в следующем порядке: начиная с простейшего, а именно: один атом *A* плюс один атом *B* равняются двойному атому *C*»[1], т. е. Дальтон рассматривает образование химических соединений как простейшее сложение атомов, а не образование принципиально нового вещества, что мы в совершенно отчётливой форме находим у Ломоносова.

Ломоносов — автор фундаментальных законов физики и химии

За 40 лет до Лавуазье Ломоносов открыл закон сохранения массы вещества и высказал закон сохранения энергии. Он впервые в истории науки чётко сформулировал эти законы, понимая их как единый всеобщий «естественный закон природы».

---

[1] Дальтон, Сборник работ по атомистике, Госхимиздат, 1940, стр. 91.

Эти открытия являются одной из величайших заслуг М. В. Ломоносова как химика и физика.

Первую формулировку закона сохранения веса вещества мы находим в его письме, датированном 5 июля 1748 г., к русскому академику Леонарду Эйлеру. Критикуя выводы Бойля из опытов по прокаливанию металлов, он писал: «Все изменения, случающиеся в природе, происходят так, что если что-либо прибавится к чему-либо, то столько отнимается от чего-либо другого».

В этом письме к Эйлеру Ломоносов повторяет мысль, высказанную им в диссертации «Размышления о причине теплоты и холода» (1745): «Если не ошибаюсь, — писал он, — первый, весьма известный Роберт Бойль доказал на опыте, что тела увеличиваются в весе при обжигании и что можно сделать части огня и пламени стойкими и взвешиваемыми. Если это действительно может быть показано для элементарного огня, то мнение о теплотворной материи нашло бы себе в подтверждение твердый оплот. Однако большая часть, почти что все опыты его над увеличением веса при действии огня показывают лишь, что-либо части пламени, сожигающего тело, либо части воздуха, во время обжигания проходящего над прокаливаемым телом, обладают весом»[1]. И далее он остроумно доказывает, что в процессе обжигания к телам присоединяется материя, однако не та, которая приписывается огню.

Ломоносов не ограничивался только общими рассуждениями по этому вопросу, а произвёл проверку опытов Бойля во вновь организованной лаборатории Академии наук, прокаливая металлы в закрытых сосудах.

Нужно отметить, что Бойль, прокаливая свинец в запаянной реторте, взвешивал реторту после прокаливания, предварительно впустив в неё воздух, и наблюдал увеличение веса металла. Исходя из этих наблюдений, он объяснил увеличение веса металла тем, что при обжиге участвует «теплотворная материя», которая, по мнению Бойля, настолько тонка, что проходит сквозь стенки стеклянного сосуда.

Ломоносов поставил опыт по-иному. Он взвесил запаянную реторту с металлом до прокаливания и после прокаливания, не впуская воздуха, и обнаружил, что вес запаянного сосуда не изменяется.

В своём докладе в 1758 г. «Об отношении количества материи и веса», основываясь на своих опытах, Ломоносов чётко формулирует, что в процессе обжига металла участвует воздух. «Нет никакого сомнения, — говорит он, — что частички из воздуха, текущего непрерывно над подвергаемым обжиганию телом, соединяются с последним и увеличивают его вес». Таким образом, Ломоносов устанавливает, что прибавление веса металла при прокаливании есть результат соединения его с воздухом, причём при прокаливании металла в закрытом сосуде вес его увеличивается на столько же, на сколько уменьшается вес воздуха.

---

[1] Б. Н. Меншуткин. Труды М. В. Ломоносова по физике и химии, стр. 112—113.

В ежегодном отчёте о своей деятельности за 1756 г. Ломоносов, описывая свои опыты, отмечает: «Между разными химическими опытами, которых журнал на 13 листах, деланы опыты в заплавленных накрепко стеклянных сосудах, чтобы исследовать, прибывает ли вес металлов от чистого жару. Оными опытами нашлось, что славного Роберта Бойля мнение ложно, ибо без пропущения внешнего воздуха вес сожженного металла остается в одной мере».

В своём классическом труде, опубликованном в 1760 г., «Рассуждение о твердости и жидкости тел», Ломоносов вновь повторяет формулировку закона сохранения массы веществ, связывая его с законом сохранения энергии:

«Но как все перемены, — пишет он, — в натуре случающиеся, такого суть состояния, что сколько чего у одного тела отнимется, столько присовокупится к другому. Так, ежели где убудет несколько материи, то умножится в другом месте. Сей всеобщий естественный закон простирается и в самые правила движения: ибо тело, движущее своею силою другое, столько же оныя у себя теряет, сколько сообщает другому, которое от него движение получает».

Таким образом, закон сохранения веса не является случайным высказыванием Ломоносова, как это пытались изобразить некоторые авторы, а красной нитью проходит через все его работы. Все научные обобщения Ломоносов делает на основе этого закона.

Если приоритет Ломоносова в открытии закона сохранения веса вещества у многих авторов вызывал споры, то закон сохранения энергии даже и не связывался с именем Ломоносова. Однако, изучая работы Ломоносова, нужно с полной определённостью признать, что в общей форме закон сохранения энергии был впервые высказан также Ломоносовым.

Очень часто ссылаются только на одну формулировку Ломоносова, а именно на ту, которая приведена выше, где Ломоносов говорит о том, что «сей всеобщий естественный закон простирается и в самые правила движения». На основании этого утверждают, что Ломоносов ограничивался только признанием сохранения количества движения. Однако Ломоносов много шире понимал это явление, чем только сохранение количества движения.

Так, в своей диссертации «О действии химических растворителей вообще» он указывает: «Когда какое-либо тело ускоряет движение другого, то сообщает ему часть своего движения; но делает это, лишь само теряя точно такую же часть. Поэтому частички воды, ускоряя вращательное движение частичек соли, теряют часть своего вращательного движения. А так как последнее — причина теплоты, то нисколько не удивительно, что вода охлаждается при растворении соли»[1].

Здесь Ломоносов совершенно чётко формулирует, что одна форма движения — механическая — может переходить в другую — тепловую.

Необходимо отметить, что М. В. Ломоносов закон сохранения веса вещества и энергии рассматривает в единстве, как всеобщий естественный закон природы.

Неверно утверждение о том, что Лавуазье независимо от Ломоносова открыл закон сохранения веса вещества.

Лавуазье, блестяще образованный человек, член французской Академии наук, живший в то время, когда слава о русском учёном гремела во всём мире (Ломоносов был почётным членом Болонской и Шведской академий), не мог не знать о работах Ломоносова.

Поэтому с уверенностью можно сказать, что, делая свои опыты с прокаливанием металлов в закрытой реторте, Лавуазье лишь повторил известные ему опыты Ломоносова. Однако он нигде не упоминает имени русского учёного. Для Лавуазье это не случайно. Так, например, он не постеснялся писать об открытии кислорода: «Этому газу, открытому почти одновременно Пристли, Шееле и мною, я намерен дать название кислорода», хотя приоритет открытия кислорода несомненно принадлежит Пристли.

Оценивая работы Лавуазье, следует, однако, отметить, что он правильно понял основные положения Ломоносова, сумел молекулярно-кинетическую теорию газов связать с открытым Шееле и Пристли кислородом и дать кислородную теорию горения, а также обобщить в своём учебнике все достижения химиков того времени.

Будучи мастером эксперимента, уяснив всю важность союза химии и математики, Лавуазье использовал имеющие громадное научное значение опыты Ломоносова с прокаливанием металлов. Так, 20 февраля 1772 г. он делает заметку в своей записной книжке: «Я осознал, — пишет Лавуазье, — необходимость сперва повторить опыты, сопровождающиеся поглощением воздуха, и умножить их число, чтобы, зная происхождение этого вещества, я мог бы проследить его действие в различных соединениях. С этих опытов я считаю должным начать».

17 лет спустя после опытов Ломоносова, а именно в 1774 г., Лавуазье повторил их и пришёл к тому же заключению, что и Ломоносов.

Лавуазье прекрасно понимал фундаментальность закона сохранения веса вещества, но он нигде явно себе его не приписывал, так как в памяти учёных того времени ещё свежи были опыты Ломоносова и выводы, которые он делал из этих опытов.

---

[1] Б. Н. Меншуткин, Труды М. В. Ломоносова по физике и химии, стр. 274.

В 1789 г. Лавуазье выпустил в свет «Начальный учебник химии», в котором обобщил мировые достижения в области химии того времени. Только здесь Лавуазье впервые, спустя 41 год после Ломоносова, привёл точную формулировку закона сохранения веса вещества, но, не приписывая открытие закона себе, он говорит о нём, как о хорошо известном и давно установленном. Говоря об этом законе на протяжении всей книги, Лавуазье поместил полную формулировку его не в начале, а лишь на 141-й странице, в главе о процессах брожения. Это является свидетельством того, что Лавуазье, как и его современники, знал о работах Ломоносова. Однако Лавуазье не указал автора этого закона.

Учебник химии Лавуазье охватывает все существенные открытия в области химии. С появлением его для большинства исследователей отпала небходимость обращаться к изучению научных трудов, опубликованных ранее, в особенности отдельных статей, напечатанных в старых журналах.

Основной же причиной того, что Ломоносова «забыли», является его страстная борьба с мистицизмом и религией, его материалистические философские взгляды. Ломоносов считал, что всякое знание должно опираться на опыт и наблюдения: «Из наблюдений установить теорию, — пишет он в работе «Рассуждения о большой точности Морского пути», — через теорию исправлять наблюдения — есть лучший из всех способов к изысканию знаний». Он, следовательно, из своих опытов умел делать выводы и широкие теоретические обобщения. Ломоносов едко высмеивает тех химиков, которые дальше «пеплу и дыму» не могут ничего видеть. С исключительной убеждённостью М. В. Ломоносов верил в могущество науки и возможность познания мира. Всё это после французской революции, когда материализм вызывал «животный» ужас у господствующих классов, не могло способствовать популяризации его работ. Можно сказать, что «учёные» — представители господствующих классов сделали всё, чтобы «забыть» работы Ломоносова в области естествознания.

Ломоносов — основоположник механической теории теплоты и кинетической теории газов

В 1745 г. М. В. Ломоносов доложил на заседании Академии наук свою классическую работу «Размышления о причине теплоты и холода», в которой опроверг широко признанное в то время учение Роберта Бойля о том, что в горении участвует особая теплотворная материя — теплород.

Выступая против теплорода, Ломоносов доказывает, что теплота получается в результате «внутреннего движения вещества».

«Очень хорошо известно, — пишет он в этой работе, — опубликованной в первом томе «Новых комментариев императорской

Санкт-Петербургской Академии» в 1747 г., — что теплота возбуждается движением: от взаимного трения руки согреваются, дерево загорается пламенем; при ударе кремня об огниво появляются искры; железо накаливается докрасна от проковывания частыми и сильными ударами, а если их прекратить, то теплота уменьшается и произведенный огонь тухнет»[1].

Вскрывая причины этой теплоты в § 26 указанной диссертации, он доказывает, что «...движение может настолько уменьшиться, что наконец тело достигает состояния совершенного покоя — и никакое дальнейшее уменьшение движения невозможно. Следовательно, по необходимости должна существовать наибольшая и последняя степень холода (температура абсолютного нуля, как бы мы теперь сказали. — *С. Б.*), состоящая в полном покое частичек, в полном отсутствии вращательного движения их»[2].

После подробного и весьма остроумного рассмотрения этого вопроса Ломоносов делает окончательный вывод, что причиной теплоты является «внутренне вращательное движение, связанное с материей».

Иронизируя над сторонниками теплотворной теории, он пишет: «В наше время причина теплоты приписывается особой материи, называемой большинством теплотворной... Это мнение в умах многих пустило такие могучие побеги и настолько укоренилось, что можно прочитать в физических сочинениях о внедрении в поры тел названной выше теплотворной материи, как бы притягиваемой каким-то любовным напитком; и наоборот — о бурном выходе ее из пор, как бы объятой ужасом. Поэтому мы считаем нашей обязанностью подвергнуть эту гипотезу расследованию»[3].

После того как Ломоносов «расследовал» эту гипотезу, от неё не осталось камня на камне. Отвечая сторонникам теплотворной теории, он утверждает, что теплота не слетает на тело неизвестно откуда, а является результатом движения мельчайших частичек, из которых состоит тело. По мнению Ломоносова, движение частиц просто и ясно объясняет расширение и сжатие, плавление и испарение тел. Теплота тел состоит во внутреннем их движении. А так как при общем движении тела не всегда рождается теплота, то оно состоит в движении частичек, ускользающих от нашего зрения, т. е. во внутреннем движении тел. Механическая теория тепла, разработанная Ломоносовым, опережает на столетие воззрения современных ему учёных. Достаточно сказать, что Лавуазье, безусловно знавший о работах Ломоносова, не мог подняться до уровня взглядов Ломоносова и в своей систематике химических элементов на одно из первых мест поставил теплород. Тот самый Лавуазье, с именем которого связывается разрушение теории флогистона, всё-таки окончательно не избавился от предрассудков своих предшественников и верил в наличие теплорода, который по существу является одним из видоизменений флогистона.

---

[1] Б. Н. Меншуткин, Труды М. В. Ломоносова по физике и химии, стр. 101.

[2] Там же, стр. 110.

[3] Там же, стр. 111.

Механическая теория теплоты стала широко известна в Европе и вызвала чрезвычайно сильные возражения со стороны многих учёных того времени, являвшихся сторонниками теплотворной теории. Немецкий физик Арнольд написал диссертацию, задавшись целью опровергнуть «нововыдуманную» теорию. Свою диссертацию он защищал 12 октября 1754 г. в Эрлангенском университете, о чём узнал Ломоносов из отчёта, напечатанного в немецкой газете «Беспристрастный Гамбургский корреспондент». «Господин Арнольд, — указывалось в этом отчёте, — совсем опровергает, принимая в свои доказательства также и господина Ломоносова, некоторые предположения, но выводя из них противное нововыдуманной теории».

Ломоносов, ознакомившись с возражениями Арнольда, был глубоко возмущён его недобросовестностью, так как не понять существа его взглядов мог только тупой невежда или заклятый враг. Он составляет опровержение и 28 ноября 1754 г. посылает его знаменитому русскому академику Леонарду Эйлеру, жившему в то время в Берлине. Эйлер помещает ответ Ломоносова Арнольду в научном журнале, издававшемся в Амстердаме на французском языке. Сам Эйлер высоко оценил работу Ломоносова. В ответном письме на имя Ломоносова он писал: «Всякий знает, что появлявшиеся до сих пор трактаты о причинах теплоты ещё не разъяснили вполне этого предмета, а занимающиеся его исследованием заслуживают величайшей похвалы. Вас нельзя не поблагодарить за то, что вы рассеяли мрак, покрывавший доселе этот вопрос».

В июле 1755 г. Эйлер в официальном письме в Академию наук по поводу этой работы писал: «Совсем другое дело сочинение Ломоносова о причине теплоты: всё, что другими было говорено о том, нелепо или неосновательно, и потому весьма далеко от достоверного объяснения; возражения же противников доказывают, с одной стороны, что они его мысли не поняли, а с другой — обличают их грубое невежество»[1].

Таким образом, эта работа Ломоносова не только была известна, но и вызвала большую дискуссию. Имя Ломоносова в Европе было известно ещё ранее, так как одновременно с сочинениями о природе теплоты в журнале Академии, издаваемом на латинском языке и рассылаемом всем иностранным академиям и университетам, были напечатаны ещё три статьи Ломоносова, в том числе его замечательная работа «Попытка теории упругой силы воздуха», в которой он впервые дал строго обоснованную кинетическую теорию газов.

---

[1] Б. Н. Меншуткин, Труды М. В. Ломоносова по физике и химии, стр. 119.

Следовательно, мы можем говорить не только о приоритете Ломоносова в создании механической теории тепла, основанной на молекулярно-атомистических представлениях, но и о том, что эта теория, как и другие его исследования, была в своё время хорошо известна учёным всего мира и вызывала широкое обсуждение.

Исходя из механической теории теплоты, Ломоносов решает такой важный вопрос физики и химии, как основы кинетической теории газов. До Ломоносова упругость воздуха объясняли особыми блуждающими жидкостями. Ломоносов фундаментально разрешает этот вопрос в своей работе «Попытка теории упругой силы воздуха». Он пишет: «Отдельные атомы воздуха, взаимно приблизившись, сталкиваются с ближайшими в нечувствительные моменты времени, и, когда одни находятся в соприкосновении, вторые атомы друг от друга отпрыгнули, ударились в более близкие к ним и снова отскочили: таким образом, непрерывно отталкиваемые друг от друга частыми взаимными толчками, они стремятся рассеяться во все стороны»[1]. И далее: «Воздушные атомы действуют друг от друга в зависимости от увеличения или уменьшения степени теплоты более сильным или более слабым взаимным соприкосновением».

Объясняя упругость воздуха, он совершенно ясно и чётко утверждает, что взаимодействие атомов воздуха обусловлено только теплотой. Отсюда более тёплое тело обладает более быстрым вращением своих частиц, а последние ускоряют вращение частиц более холодного тела, причём движение последних увеличивается настолько, насколько уменьшается движение первых.

Критикуя теорию «блуждающей жидкости», Ломоносов пишет в указанной работе: «Действительно, мы считаем излишним призывать на помощь для отыскания причины упругости воздуха ту своеобразную блуждающую жидкость, которую очень многие, — по обычаю века, изобилующего тонкими материями, — применяют обыкновенно для объяснения природных явлений. Мы довольствуемся тонкостью и подвижностью самого воздуха и ищем причину в самой материи его»[2].

Вряд ли эти высказывания Ломоносова нуждаются в разъяснениях. Чтобы оценить их, достаточно указать, что упругая сила воздуха в современной науке объясняется точно так же, как в своё время объяснял Ломоносов. Великий учёный не только открыл причины теплоты и холода, не только создал кинетическую теорию газов, но страстно боролся с противниками этих теорий за свои взгляды.

---

[1] Б. Н. Меншуткин, Труды М. В. Ломоносова по физике и химии, стр. 135.

[2] Там же, стр. 132.

Ломоносов — основоположник науки физической химии

Теоретические основы химической науки Ломоносова постепенно выкристаллизовывались со времени заграничной командировки и окончательное завершение получили в «Слове о пользе химии», а затем в курсе, который он в 1752—1754 гг. читал студентам университета. Этот курс он назвал «Курсом истинной физической химии».

Определяя задачи физической химии, он писал: «Физическая химия есть наука, объясняющая на основании положений и опытов физики то, что происходит в смешанных телах при помощи химических операций. Она может быть названа химической философией, но в совершенно другом смысле, чем та мистическая философия, где не только не дают объяснений, но даже самые операции производят тайным образом»[1].

Название этого раздела химии «Физическая химия» явилось следствием того, что «Химик без знания физики, — как считал Ломоносов, — подобен человеку, который все искать должен ощупом, и сии две науки так созданы между собой, что одна без другой в совершенстве быть не могут».

Ломоносов не только чётко определил задачи физической химии, не только прочитал лекции по этому курсу, но и выполнил ряд научных исследований в этой области. Особенно большой интерес представляют его работы по растворам.

Так, определяя процесс растворения, он пишет: «Растворение имеет место, когда жидкое тело действует на твердое — или тоже жидкое — так, что последовательно разрушает сцепление его частичек и связь их с другими, присоединяет их к себе и с разрушенным и присоединенным телом образует смешанное тело. Тело, производящее растворение, у Химиков зовется растворителем»[2]. И далее: «Собственно растворение бывает, когда частички твердого (или жидкого) тела, погруженного в растворитель, отрываются последовательно от поверхности и распространяются в самом растворителе. Примеры имеем ежедневно, когда растворяем в воде соль или сахар»[3].

Ломоносов считал, что процесс растворения не сводится только к растворению одного вещества в другом, но растворимые вещества, вступающие в соединение с растворителями, образуют смешанное тело.

Эта мысль о взаимодействии растворителя с растворённым в нём веществом была с предельной ясностью высказана и обоснована другим корифеем русской химической науки, Д. И. Менделеевым, в его знаменитой «Гидратной теории растворов».

---

[1] Б. Н. Меншуткин, Труды М. В. Ломоносова по физике и химии, стр. 388.

[2] Там же, стр. 402

[3] Там же.

Ломоносов впервые указал на то, что растворимость изменяется с повышением температуры, что в процессе растворения, в частности, соль поглощает тепло. Это явление он объясняет, исходя из своей атомно-молекулярной теории.

Ломоносов первый открыл, что растворы замерзают при более низкой температуре, чем растворители. В своём труде, посвящённом исследованию возможности путешествия по северным морям и исследованию «возможного прохода по Сибирскому океану в Восточную Индию», он пишет: «Морозы соляного рассолу не могут в лед претворить удобно, как одолевают пресную»[1]. И далее он делает такое замечание: «Мелкое перед океаном Белое море принимает в себя пресную воду из Двины, Онеги, Мезени и других меньших рек, ради слабости рассола меньшим морозам повинуясь, в лед обращается»[2].

Сам М. В. Ломоносов высоко ценит свои работы по растворам. В своём «Конспекте важнейших теорем», которыми постарался обогатить естественные науки, он пишет: «Основанная на химических опытах и физических началах теория растворов есть первый пример и образец для основания истинной физической Химии, где именно явления объясняются по твердым законам механики, а не на жалком основании притяжения»[3].

Результаты работы в области физической химии оправдывают слова Ломоносова, который писал: «Я не токмо в разных авторах усмотрел, но и собственным искусством удостоверен, что химические эксперименты, будучи соединены с физическими, особливое действие вызывают».

Следующими главами физической химии являются созданные им механическая теория теплоты и кинетическая теория газов, о которых мы говорили выше.

Созданная Ломоносовым физическая химия получила широкое развитие в трудах его преемников — русских учёных Т. Ловица, Г. Гесса, Н. Н. Бекетова, Д. И. Менделеева и др.

Ломоносов физическую химию называет философией химии. Этим самым он подчёркивает теоретическое значение этого раздела химической науки. Значение теории он определяет следующим образом: «Из наблюдений устанавливать теорию, через теорию исправлять наблюдения — есть лучший из всех способов к исканию правды».

К теоретическим исследованиям М. В. Ломоносова в области физической химии относятся также упомянутые работы по обоснованию низких температур.

Исследования Ломоносова в области физической химии, а также по физике были высоко оценены передовыми учёными того времени. Леонард Эйлер, оценивая работы Ломоносова, в 1745 г. писал: «Все записки Ломоносова по части физики и химии не только хороши, но превосходны, ибо он с такой осторожностью излагает любопытнейшие, совершенно неизвестные и необъяснимые для величайших гениев предметы, что я вполне убеждён в истине его объяснения. По сему случаю должен отдать справедливость господину Ломоносову, что он обладает счастливейшим гением для открытия феноменов физики и химии и желательно было бы, чтобы все прочие академики были в состоянии производить открытия подобно тем, которые совершил Ломоносов».

---

[1] Б. Н. Меншуткин, Труды М. В. Ломоносова по физике и химии, стр. 402.

[2] Там же, стр. 431.

[3] Там же.

Ломоносов — зачинатель многих химических производств и первый химик-аналитик

Михаил Васильевич не принадлежит к числу кабинетных учёных. Он стремился свою науку обратить прежде всего «служению новым потребностям и нуждам российского света и российского народа».

С именем Ломоносова связано развитие фарфоровой, стекольной, металлургической, горнообрабатывающей, соледобывающей промышленности. Ему первому принадлежат замечательные работы в области добычи золота. Ломоносов первый в России создал мозаику, причём он здесь проявил не только своё искусство как художник, но прежде всего как химик и химик-технолог. Ломоносов в своей химической лаборатории с великим упорством производит тысячи плавок для того, чтобы разработать получение цветного стекла (смальты) для мозаичных картин. Одновременно он является изобретателем красок для окрашивания стекла и фарфора.

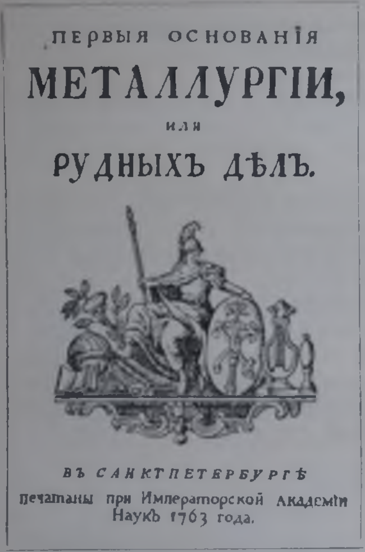
В наше время, когда на наших глазах воздвигаются фабрики, заводы, когда подъём промышленности достигает гигантских размеров, когда во всех областях проявляется небывалый в истории человечества пафос труда, которым охвачен весь советский народ, невольно вспоминаются слова М. В. Ломоносова, сказанные им 200 лет назад: «Веселитесь, места ненаселенные; красуйтесь, пустыни непроходные: приближается благополучие ваше... скоро украсят вас великие городы и обильные села... Но тогда великой участнице в населении вашем Химии возблагодарить не забудьте, которая ничего иного от вас не пожелает, как прилежного в ней упражнения, к вящшему самих вас украшению и обогащению»[1].

Как бы для решения этих задач Ломоносов выдвигает в 1763 г. идею составления карты «о продуктах российских», в которой было бы отражено «сколько наших продуктов и прочего экономического в России родится, или на фабриках и заводах делается... Также определить можно карту рудокопных мест и разных яко то, железных, медных и прочих заводов, карту фабрик, мануфактур и всего того, чем российское государство избыточествует»[1].

---

[1] Б. Н. Меншуткин, Труды М. В. Ломоносова по физике и химии, стр. 384.

Идея составления карты российских продуктов была задумана Ломоносовым очень широко. Он намечает составление ежегодных сводок о состоянии промышленности и всего народного хозяйства, мотивируя это тем, чтобы всякий год «получая сведения, где что упадает, удобнее можно изыскивать способы, чтобы одно место другому помогло».



ПЕРВЫЯ ОСНОВАНІЯ
МЕТАЛЛУРГІИ,
или
РУДНЫХЪ ДѢЛЪ.

ВЪ САНКТПЕТЕРБУРГѢ
печатаны при Императорской Академіи
Наукъ 1763 года.

Рис. 36. Титульный лист «Первых оснований металлургии».

В сведениях, которые он желал получить со всех концов России от ряда правительственных учреждений, необходимо было называть не только списки всех фабрик и заводов, сообщать данные обо всех усольях и варницах, но представлять и образцы квасцов, мрамора, мела, нефти, яшмы, различные пески, минералы. Это показывает большой интерес Ломоносова к природным богатствам своей страны с целью их практического использования.

В глинах, которые он желал получить со всех концов России, предполагалось изыскать различные металлы, в песке Ломоносов предлагал искать золото. Тогда же в связи с этим Ломоносов предлагает организовать обучение молодых людей металлургии и пробирному делу, чтобы создать специально обученные кадры для промышленности.

К сожалению, это грандиозное по своему замыслу предприятие, одобренное Сенатом, не было осуществлено из-за преждевременной смерти М. В. Ломоносова (15 апреля 1765 г.).

С именем М. В. Ломоносова связано развитие горнозаводского дела и металлургии. Он по праву может считаться первым учителем русских горщиков-руднознатцев и металлургов.

Первая научная техническая книга в области металлургии и горнорудного дела «Первые основания металлургии, или рудничных дел», принадлежит Ломоносову. Этот труд не представляет

---

[1] Лукьянов, История химических промыслов и химической промышленности в России, т. 1, стр. 256.

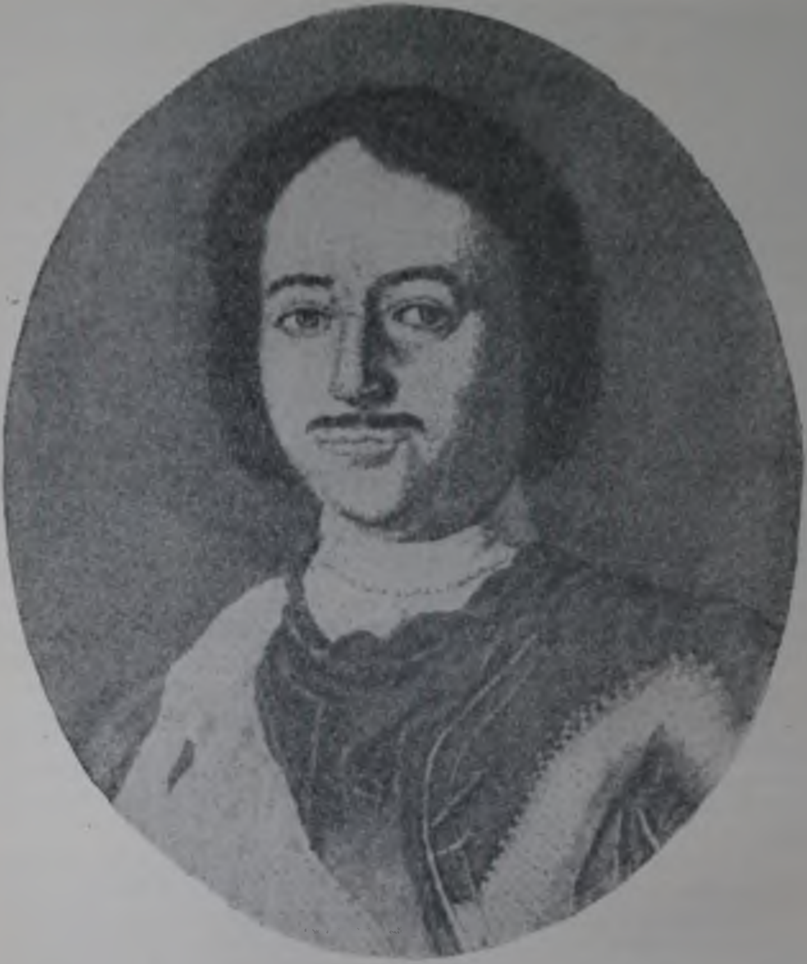


Рис. 37. Мозаичный портрет Петра I, выполненный Ломоносовым.

только перечень различных рецептов в области металлургии, но и научно обосновывает процессы, связанные с выплавкой металла и добыванием руд. Книга по тому времени получила широкое распространение. На ней воспитывались сотни замечательных русских металлургов и горных инженеров.

В своей химической лаборатории Ломоносов изобретает фарфоровую массу, о чём он в своё время пишет: «Трудясь многими исследованиями, изобрел фарфоровую массу». Работа по изобретению фарфоровой массы была тесно связана с работой по производству цветных стёкол. Однако Ломоносов не ограничивается только лабораторными исследованиями, а добивается в 1752 г. открытия фабрики. На этой фабрике он организует производство разноцветного стекла, бисера, стекляруса и других галантерейных изделий. Здесь же был выполнен первый образец мозаичной работы — портрет Петра I.

Интересно отметить, что Ломоносов, как только была построена фабрика, организует при ней химическую лабораторию, которая выполняет функции, говоря современным языком, заводской лаборатории. В этой лаборатории Ломоносов сам и его ученики выполняют ряд аналитических работ, связанных с изготовлением новых масс, и производят тысячи опытных плавок стёкол. Здесь был разработан состав цветного хрусталя, а также печей «для приготовления крепких водок (кислот) и других припасов».

Ломоносову принадлежит создание и «Основ аналитической химии», ибо первым и единственным химиком-аналитиком в то время в России был сам Ломоносов. В своей лаборатории он исследует образцы соли, поташа, пороха, селитры и различные руды.

Большинство химических анализов было выполнено Ломоносовым по заданию правительственных учреждений. Так, им были подвергнуты сравнительному анализу илецкая, астраханская, печорская, пермская и другие соли. В рапорте от 2 февраля 1745 г. он сообщает о результатах своих анализов: «Сего февраля 2 числа даны мне из оного Кабинета (Кабинета императрицы. — *С. Б.*) разные соли для пробования их крепости и доброте одной против другой, также Гирьясской слюды, и оные соли и слюда мною опробированы, а в пробе явились следующей крепости и доброты». В этом рапорте он подробно описывает результаты проб и методику анализов.

В трудах Академии наук имеются документы о том, что академик Ломоносов опробовал краски, поташ, соду и разные руды.

Анализируя краски, Ломоносов сам создаёт краску типа берлинской лазури и др. Краски Ломоносова получили заключение: «Оные в малярном деле годны, особливо светлые и голубые... они в деле годятся».

Большой интерес представляют работы Ломоносова в области исследований добычи золота. Он выступает как великий новатор золотой промышленности. Эта сторона его деятельности, недостаточно отмеченная исследователями, представляет большой теоретический и практический интерес. Ломоносов первый пришёл к мысли, что рассыпное золото можно добывать из песков в очень многих местах России. Он предложил новый способ извлечения золота из золотоносных песков и создал теорию образования рассыпного золота, указав, что после открытия золотоносного песка нужно искать коренное месторождение золота, поднимаясь вверх по рекам. Однако на четкие указания Ломоносова в своё время не обратили внимания, и только в последнее время они нашли своё развитие в работах русских золотоискателей.

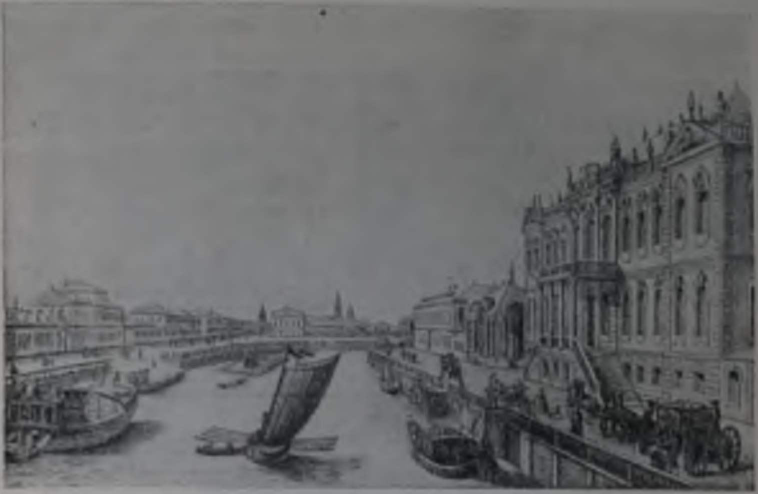


Рис. 38. Дом М. В. Ломоносова на Мойке в С.-Петербурге.

Ломоносов ревностно заботился о просвещении и подготовке кадров в области промышленности. Он организовал обучение пробирному делу, заботился о создании химических лабораторий. Первая лаборатория была им, как известно, организована при Академии наук в 1748 г., затем в 1752 г. при Усть-Рудицкой фабрике и, наконец, домашняя лаборатория, созданная им при своей квартире в новом доме на Мойке.

Глубокие научные исследования М. В. Ломоносова связаны с неустанными заботами о развитии промыслов в России.

«Рачения и трудов для сыскания металлов требует пространная и изобильная Россия, — говорит он в своём слове «О пользе химии». — Мне кажется, я слышу, что она к сынам своим вещает. Простирайте надежду и руки ваши в мое недро, и не мыслите, что искание ваше будет тщетно... Химическое искусство в средину гор проникнет и что в них лежит без пользы очистит для умножения нашего блаженства; и сверх сего своего сильного в Металлургии действия, иные полезные тебе плоды принести потщится»[1].

Создатель теоретических основ горнорудного дела и металлургии, зачинатель стекольного и фарфорового производства, изобретатель фарфоровой массы и производства цветных стёкол и красок, исследователь солеварных промыслов, новатор в области зо-

---

[1] Б. Н. Меншуткин, Труды М. В. Ломоносова по физике и химии, стр. 382.

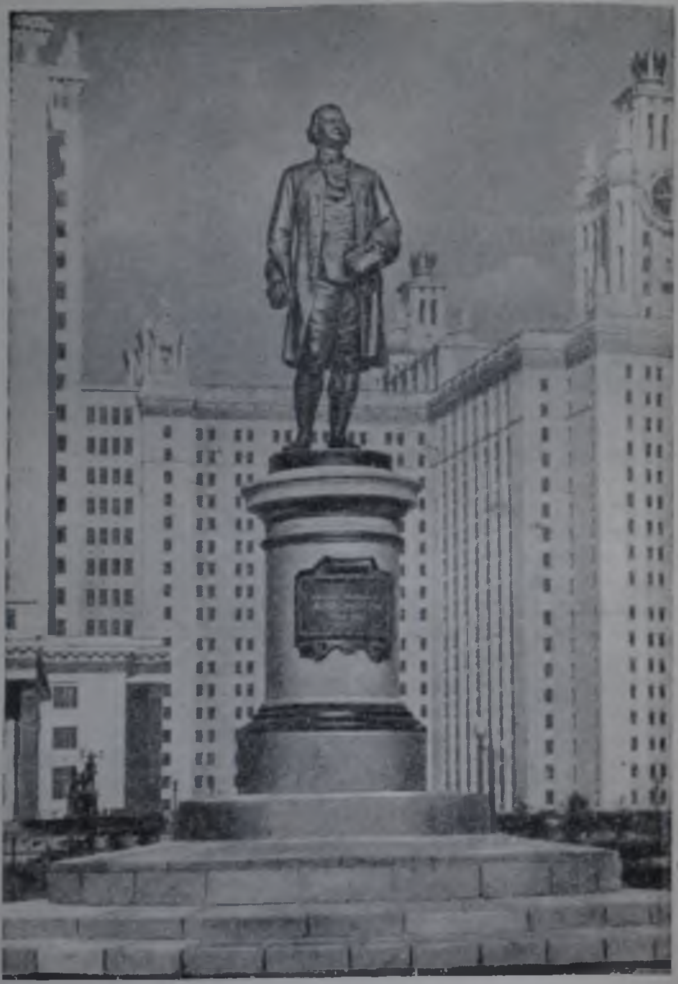


Рис. 39. Памятник М. В. Ломоносову около нового здания Московского университета на Ленинских горах.

лотой промышленности, мастер пробирного дела и первый химик-аналитик — вот краткая характеристика деятельности Ломоносова в области промышленности.

М. В. Ломоносов является инициатором и побориком просвещения среди широких масс населения для того, чтобы, как он пишет, «в Академии были не иностранцы, а природные россияне».

Он не мог мириться с засилием иностранцев в академии. В своём письме на высочайшее имя он писал: «Когда будет довольство учёных людей, тогда ординарные и экстраординарные академики и адъюнкты быть должны природные россияне по доброму примеру Парижской Академии, где все академики природные французы».

Он прилагал много усилий для того, чтобы создать в России университет. В своём письме Шувалову по этому поводу он писал: «Приращению наук, следовательно к истинной пользе и славе отечества открытие университета совершенно необходимо». И он добился в 1755 г. открытия первого русского университета в Москве. Этот университет, носящий сейчас имя Ломоносова, прославил результатами своих исследований, которые были выполнены в его стенах, русскую науку и осуществил заветную мечту Ломоносова об истинной пользе и славе отечества.

Великий сын русского народа всю свою жизнь посвятил служению народу. Имя В. М. Ломоносова является символом патриотизма, образцом служения народу и примером самоотверженной борьбы за науку.

К. А. Тимирязев

ДИФФУЗИЯ

Физика учит нас, что частицам вещества присуще движение, что мы не знаем материи без движения. Это движение всего яснее обнаруживается в жидком и особенно в газообразном состоянии вещества. Частицы газообразного вещества одарены быстрым движением, они стремятся вразброд, стремятся рассеяться в пространстве, занять все места, ещё ими не занятые, и это продолжается до тех пор, пока они не распределятся равномерно во всём доступном им пространстве. Эта способность, это стремление вещества распространяться, рассеиваться в пространстве называется *диффузией*. Убедиться в существовании явлений диффузии очень легко, особенно над газообразными или летучими веществами. Стоит мне плеснуть на воздух небольшое количество эфира, и тотчас же в ближайшем соседстве, а потом и в отдалённейших углах залы будет ощутителен всем знакомый запах гофманских капель. Эфир превратился в пар, и этот пар рассеялся по всей зале. Нетрудно также обнаружить и диффузию жидкостей: стоит вспомнить, вероятно, многим знакомый опыт с водой и вином; если на поверхность воды осторожно налить красного вина, то обе жидкости образуют два ясно между собой разграниченных слоя. Но мало-помалу резкая граница между ними исчезает, — вино проникает в воду, вода в вино; обе жидкости смешиваются. Тот же опыт мы можем видеть здесь в ещё более наглядной форме (рис. 41). Вот две почти бесцветные жидкости, которые, будучи слиты вместе, дают жидкость кроваво-красного цвета. В этот узкий и длинный сосуд на дно налита тяжелейшая из двух жидкостей, а поверх её, соблюдая известные предосторожности, налита вторая, более лёгкая. На границе их образовался узкий, как черта, слой красного раствора, но с течением времени эта узкая, едва заметная красная полоска будет расти и под конец лекции превратится в поясок шириной в несколько пальцев, а по прошествии нескольких часов или, может быть, дней вся жидкость окрасится равномерным красным цветом. Обе жидкости, очевидно, взаимно проникаются, а это зависит от невидимого, но присущего их частицам движения, от их стремления рассеиваться в пространстве, потому что иначе мы не можем себе объяснить, каким образом, вопреки действию тяжести, легчайшие частицы опускаются вниз, а тяжелейшие поднимаются наверх. Различные вещества обладают этой способностью к рассеянию, к диффузии, в весьма различной степени; другими словами, частицы различных веществ движутся с различной скоростью. Это всего легче можно показать на газах. Этот сосуд (рис. 40) из слабо обожжённой и очень пористой глины *а* в нижней своей части соединён со стеклянной трубкой *б*, погружённой нижним концом в подкрашенную красной краской воду. Сосуд вместе с трубкой содержит воздух. Цель этого прибора состоит в том, чтобы обнаруживать малейшее изменение в объёме воздуха, заключённого в сосуде и трубке. Если объём почему-либо увеличится, то воздух начнёт выделяться в виде пузырьков через эту окра-

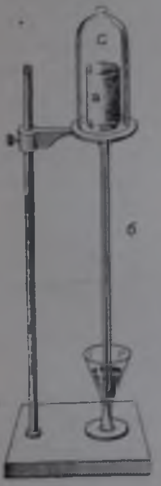


Рис. 40. Опыт для доказательства диффузии газов.

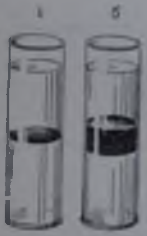


Рис. 41. Опыт для доказательства диффузии жидкостей.

шенную жидкость. Обратно — если объём воздуха в приборе уменьшится, то окрашенная жидкость поднимается в трубке. Ни того, ни другого пока не происходит, потому что воздух внутри и снаружи прибора один и тот же. Но если мы окружим этот сосуд другим воздухом, другим газом, то, очевидно, между двумя газами, через пористую, проницаемую для них стенку произойдёт взаимный обмен; каждый будет стремиться рассеяться в другом. Но, очевидно, если оба газа стремятся рассеяться, а частицы их движутся с различной скоростью, то в приборе произойдёт временное изменение объёма, увеличение или уменьшение, смотря по тому, который из газов движется быстрее. Одним словом, здесь произойдёт то же самое, что через несколько минут произойдёт в дверях этой залы. Положим, что в настоящую минуту в зале находится триста лиц; положим, что из них сто, соскучившись слишком затянувшейся лекцией, с нетерпением ждут её конца, чтобы поспешить выйти, а там, за дверями, стоят сто других лиц, желающих проникнуть в залу для следующей лекции. Если одни будут выходить с такой же поспешностью, с какой другие будут входить, то число лиц в зале ни на минуту не изменится; если же лица входящие, не утомлённые часовым напряжённым состоянием, окажутся энергичнее, то в первую минуту число лиц в зале возрастёт, она переполнится, и только немного спустя, когда выйдут желавшие уйти, число присутствующих опустится до прежних трёхсот. Точно так же и здесь, если я окружу этот пористый сосуд газом, частицы которого будут быстрее проходить внутрь сосуда, чем частицы заключённого в нём воздуха будут выходить наружу, то на время в сосуде окажется более частиц газа, чем он может вместить, и избыток газа станет выделяться пузырьками из конца трубки. Я беру стеклянный колокол, наполненный водородом; так как этот газ легче воздуха, то его можно удержать некоторое время в сосуде, обращённом отверстием вниз. Я надвигаю этот колокол *c* на пористый сосуд *a*. Внутри сосуда обыкновенный воздух, снаружи, под колоколом, — водород; если частицы водорода одарены более быстрым движением, чем частицы воздуха, внутренний объём газа должен увеличиться; и вы видите и слышите, как пузырьки газа булькают через окрашенную жидкость в рюмке. Теперь я снимаю колокол; условия совершенно извращаются: водород находится теперь внутри сосуда, воздух — снаружи; водород стремится наружу, воздух — внутрь, но частицы водорода движутся быстрее частиц воздуха, в приборе происходит уменьшение объёма, и вы видите, как быстро поднимается в трубке *б* столб красной жидкости.

Итак, газы ещё более, чем жидкости, способны к диффузии, т. е. способны проникать всюду, где их ещё нет. Этот водород устремился в сосуд только потому, что его там не было, и устремился вон из сосуда только потому, что его нет в воздухе этой залы. Точно так же всякое газообразное тело, а равно и тела, растворённые в жидкостях, спешат занять всё доступное им пространство, распределяясь в нём равномерно.

(«Жизнь растения»)

Л. М. Сморгонский

ДЖОН ДАЛЬТОН И ЕГО УЧЕНИЕ ОБ АТОМАХ

> *«Новая эпоха начинается в химии с атомистики (следовательно, не Лавуазье, а Дальтон — отец современной химии)...»*
>
> (Ф. Энгельс, Диалектика природы, 1948, стр. 238.)

В тяжёлых условиях протекала жизнь человека, которого Энгельс назвал «отцом современной химии».

Джон Дальтон (правильнее читать До̀лтон) родился в небольшой английской деревушке в семье бедного ткача 6 сентября 1766 г. Уже с ранних детских лет он принуждён был собственным трудом зарабатывать себе на пропитание. До 11 лет он учится в местной деревенской школе, а уже в 12-летнем возрасте сам становится в ней учителем.

Всеми своими знаниями он был обязан исключительно самообразованию. Переходя из школы в школу, он, уча других, учится сам. Свободное от занятий в школе время он посвящает основательному изучению латинского языка, математики и естественных наук. В 1793 г., в возрасте 27 лет, он переезжает в крупный промышленный центр — город Манчестер. Шесть лет он преподаёт математику в небольшой средней школе, а когда школа переводится в другой город, он добывает себе средства к жизни частными уроками и чтением публичных лекций.

Незадолго до приезда Дальтона в Манчестере было организовано местными учёными литературное и философское общество. В 1794 г. Дальтон избирается членом этого общества и принимает деятельное участие в его работе. В журнале Манчестерского института были напечатаны главнейшие научные труды Дальтона.

Лишь на склоне лет скромный учитель получает всеобщее признание как учёный и научные почести. В 1816 г. он избирается членом-корреспондентом Французской Академии наук, а в 1822 г. — членом Королевского Общества (Английская Академия наук). 26 июля 1844 г. Дальтон сделал последнюю запись в дневнике наблюдений над погодой, который он вёл регулярно изо дня в день в течение 57 лет, а 27 июля 1844 г. скончался.

Главнейшая научная заслуга Дальтона заключалась во введении в химию атомного учения и в открытии атомных весов.

Дальтон не был первым учёным, который пытался применить учение древних философов об атомах к объяснению химических явлений.

Дж. Дальтон *(1766—1844).*

Из предшественников Дальтона наиболее последовательно развивал в химии атомное учение М. В. Ломоносов. Но в то время, когда Ломоносов разрабатывал своё учение, наука не располагала достаточным числом фактов, на которые можно было бы опереться, чтобы довести начатое им дело до конца и полностью перестроить химию на основе атомных представлений. Как и многие другие открытия Ломоносова, его атомное учение не было оценено его современниками и было вскоре забыто.

В гораздо более благоприятную эпоху для их признания были опубликованы работы Дальтона. За 50—60 лет, разделяющих учение Дальтона от учения Ломоносова, химическая наука обогатилась громадным числом новых открытий. Прежде всего был открыт мир разнообразных газов, которые ранее рассматривались большинством учёных как видоизменения обыкновенного воздуха. Был установлен сложный состав воды и воздуха, которые во времена Ломоносова считались простыми веществами.

Количественные измерения, о которых горячо ратовал Ломоносов, начали планомерно применяться в химии и принесли свои плоды: были твёрдо установлены и подтверждены на многочисленных опытах законы сохранения веса веществ при химических реакциях и постоянства состава химических соединений.

Теория флогистона, господствовавшая при жизни Ломоносова, была опровергнута точными опытами. В химии утвердилось понятие об элементах как о неразложимых далее веществах. Но громадное число отдельных фактов и открытые опытным путём законы оставались необъединёнными и необъяснёнными. Каким образом связать между собой химические законы? Должна ли химия иметь дело с каждым из них в отдельности, или же она может создать такую теорию, из которой сами собой вытекали бы законы химических реакций? Само развитие химической науки диктовало необходимость разработки такой теории, с помощью которой можно было бы предсказывать явления, а не производить наблюдения и опыты вслепую.

К началу XIX в., таким образом, была полностью подготовлена почва для повторного введения в химию атомного учения и его успешной разработки.

С самого начала научной деятельности Дальтона его внимание было сосредоточено на физических и химических свойствах газов.

После блестящих и поражающих ум открытий в конце XVIII в. внимание учёных было привлечено к газам, как в наши дни к внутриатомным превращениям.

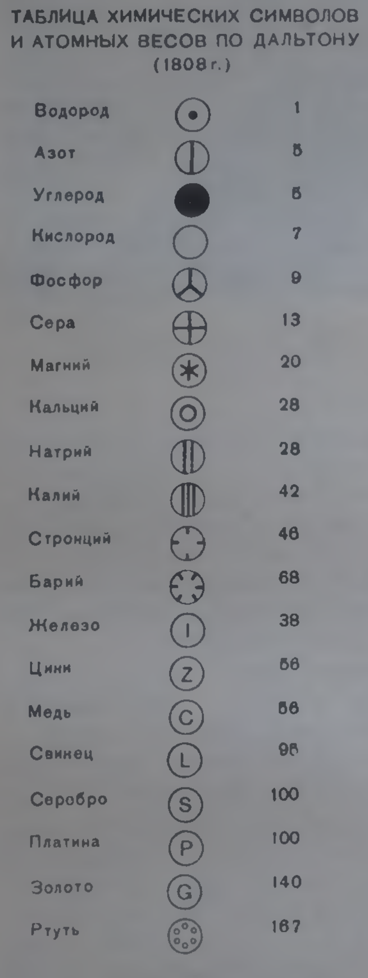


ТАБЛИЦА ХИМИЧЕСКИХ СИМВОЛОВ И АТОМНЫХ ВЕСОВ ПО ДАЛЬТОНУ (1808 г.)

Водород	1
Азот	5
Углерод	5
Кислород	7
Фосфор	9
Сера	13
Магний	20
Кальций	28
Натрий	28
Калий	42
Стронций	46
Барий	68
Железо	38
Цинк	56
Медь	56
Свинец	95
Серебро	100
Платина	100
Золото	140
Ртуть	167

Рис. 42. Таблица символов химических элементов и их атомных весов по Дальтону.

Начав с наблюдений над атмосферными явлениями, Дальтон вскоре перешёл к опытам и наблюдениям над давлением газов, расширением газа от нагревания и растворимости газов в различных жидкостях.

Но Дальтон имел обыкновение не ограничиваться только исследованием одной внешней стороны явлений. Дальтон придавал большое значение точным опытам. Вместе с тем он считал, что одним описанием фактов наука не может ограничиться. «Факты и опыты, касающиеся любого предмета, никогда не оцениваются в достаточной мере до тех пор, пока в руках какого-либо искусного наблюдателя они не лягут в основу теории, при помощи которой мы сможем предсказывать результаты и предвидеть последствия опытов, до этого момента ещё не производившихся. Так, трудолюбивый экспериментатор наших дней в поисках закона тяготения счёл бы, пожалуй, необходимым углубиться чуть ли не до центра земного шара, чтобы найти там изменение тяготения, если бы величественные рассуждения Ньютона не предсказали бы заранее искомые результаты и не избавили бы его от предприятия столь бесплодной и бесконечной работы».

Для того, чтобы разработать теорию газов, нужно представить себе их внутреннее строение. Оно рисуется Дальтону следующим образом: «В моём воображении сосуд, наполненный какой-нибудь чистой эластической жидкостью (так тогда называли газы), представляется мне наполненным чем-то вроде мелкой дроби». Однако Дальтон не ограничивается только тем, что составил себе ясное представление о строении газов, которое явилось результатом его отвлечённых размышлений: он постарался сблизить и согласовать это воображаемое строение с многими фактами, в действительности наблюдаемыми у газов. Так, он нашёл, что при одной и той же температуре и давлении вода растворяет разные объёмы разных газов. Он объяснил это тем, что частички различных газов, наподобие мелких дробинок, проникают между частичками воды, растворяются в ней до тех пор, пока для них есть свободное место.

«Но почему же, — спрашивал он сам себя, — если это представление о газах верно, почему же вода не растворяет все газы в одинаковой степени?» На этот вопрос Дальтон дал ответ, имеющий громадное значение для химии: «Я почти убеждён, что это различие зависит от веса и числа самых мельчайших частичек, из которых состоят газы; одни из них, будучи самыми лёгкими и простыми, растворяются с трудом, другие же как раз тем легче растворяются, чем больше возрастают их сложность и вес». К этому ответу он присоединил ещё одно положение, которое оказалось очень важным для дальнейшего развития химической науки: «Исследования над определением относительных весов мельчайших частичек тел, насколько мне известно, являются совершенно новой задачей. Мне удалось впервые произвести эти исследования и с совершенно неожиданным замечательным успехом. В этом сообщении я не могу входить в изложение приёмов, на основании которых произведено исследование, но я зато могу сообщить теперь же результаты, по крайней мере те, которые, как кажется, подтверждаются моими опытами».

Дальтон прилагает к этому «таблицу относительных весов мельчайших частичек газообразных и других тел». Этот список представляет собой первый пример того, что мы теперь называем «таблицей атомных весов».

В дальнейшем Дальтон распространяет свою теорию на все вещества — не только газообразные, но и жидкие, и твёрдые. Он изложил её в книге «Новая система химической философии», первый том которой был издан в 1808 г.

Дальтон предполагает, что каждое вещество, жидкое, твёрдое или газообразное, имеет зернистое строение. Но что же такое в точности обозначает «зернистое строение»?

Единственно только то, что определённое вещество заполняет пространство так, как наполняют бочку яблоки, а не как наполняет форму студень. По этому предположению, если бы кто-нибудь мог рассмотреть небольшую часть какого-нибудь вещества, скажем воды, при необычайно большом увеличении, то он увидел бы необозримую кучу чрезвычайно мелких частичек воды, собранных вместе не вплотную, а с промежутками. Таким образом, зернистое строение дало бы совершенно такую же картину, как дальтоновский сосуд, наполненный очень мелкой дробью.

Затем Дальтон предполагает, что каждое отдельное зерно какого-нибудь чистого вещества до мельчайших подробностей сходно со всяким другим зерном того же вещества, сходно по весу и по всем другим свойствам. Дальтон пишет: «Одинаковы ли между собой первичные частицы вещества, такого, как вода, т. е. имеют ли одинаковую форму, вес и т. д.? Из того, что известно, мы не имеем никакого основания предполагать различие в этих особенностях. Едва ли можно себе представить, каким образом совокупность неодинаковых частиц может быть повсюду столь одинаковой. Если бы некоторые частицы воды были бы тяжелее других и если бы часть жидкости по какому-либо случаю состояла главным образом из этих более тяжёлых частиц, то следовало предположить, что это повлияло бы на удельный вес всей массы, но такого случая до сих пор неизвестно. Подобное же замечание можно сделать относительно других веществ. Поэтому мы можем заключить, что первичные частицы всех одинаковых тел совершенно одинаковы по виду, форме и т. д. Другими словами, каждая частица воды подобна любой другой частице воды; каждая частица водорода подобна любой частице водорода и т. д.».

«Мельчайшие первичные частицы вещества» Дальтон назвал атомами. Частицы простого вещества он назвал «простыми атомами», а частицы сложных веществ — «сложными атомами». «Сложные атомы» мы теперь называем молекулами. Сложные атомы (молекулы) состоят из простых атомов. Но простые атомы Дальтон считал неделимыми, их нельзя разрушить и их нельзя создать вновь; атом одного элемента не может превратиться в атом другого. «Химический анализ и синтез, — писал Дальтон, — идёт не далее, чем до отделения атомов друг от друга и их воссоединения. Никакое новое создание и разрушение материи не может быть достигнуто химическим действием. Мы могли бы с таким же успехом попытаться внести в солнечную систему новую планету или уничтожить одну из уже существующих, как и создать или уничтожить частицу водорода. Единственные измене-

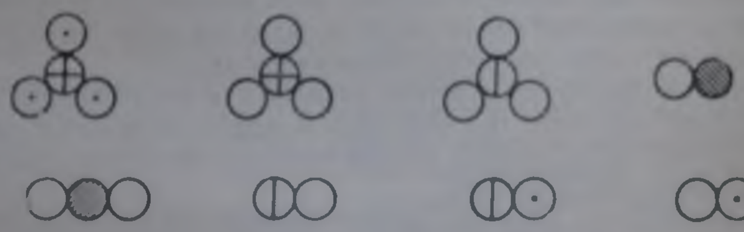


Рис. 43. Химические формулы Дальтона

ния, которые мы можем произвести, состоят в отделении соединённых друг с другом атомов или в их присоединении друг к другу».

Так как атомы не уничтожаются и не возникают при химических реакциях, то становится понятным, почему вес вещества до реакции равен весу вещества после реакции.

Положение о неразрушимости атомов было принято в науке до конца XIX в., когда были открыты так называемые ядерные превращения, при которых один элемент превращается в другой или другие.

Но ни Дальтон, ни его наиболее дальновидные последователи не понимали неделимости атома в абсолютном смысле. Атом какого-либо элемента неделим и неразрушим в пределах тех же условий, в которых остаётся неизменяемым и самый элемент. Весь наш опыт говорит о том, что элементы, а следовательно, и атомы, не изменяются при химических реакциях. Это не значит, что не существуют такие процессы в природе, при которых разрушаются или образуются вновь «простые атомы», но такие процессы нужно рассматривать уже не как химическую реакцию, а как особый, отличный от химической реакции, вид превращения материи. Такой вид превращения материи теперь хорошо известен — он называется ядерным превращением. Ядерные превращения протекают совершенно независимо от химических реакций и изучаются особой наукой — ядерной физикой.

Но во времена Дальтона ядерные превращения не были известны, и поэтому атомы им рассматривались как предел дробления материи. Итак, по Дальтону, все атомы одного и того же элемента далее не разложимы на более простые частицы; они абсолютно неразличимы между собой и, в частности, совершенно одинаковы по весу. Зато атомы различных химических элементов имеют различный вес.

Простые атомы Дальтон условно изображал в виде кружков (рис. 42), а сложные — как соединение этих кружков (рис. 43).

Теория Дальтона даёт простое объяснение закону постоянства состава. Действительно, «сложные атомы» (молекулы) одного и того же вещества одинаковы, значит они состоят из одного и того же числа одних и тех же простых атомов.

Если молекулу данного соединения образует определённое число атомов элемента, а каждый атом имеет свой определённый вес, то ясно, что весовой состав всего соединения должен быть строго определённым.

С помощью атомного учения Дальтону удалось не только просто объяснить уже известные законы химии, но и открыть новый закон. Этот закон относится к количественному составу *различных соединений*, образованных *одними и теми же* элементами.

Во времена же Дальтона уже было твёрдо установлено, что различные вещества могут иметь одинаковый качественный состав, т. е. состоять из одних и тех же элементов, но отличаться друг от друга по своему количественному составу.

Примером могут служить угарный газ и углекислый газ. Они резко отличаются друг от друга по свойствам: углекислый газ почти в $1^1/_2$ раза тяжелее воздуха, а угарный газ легче воздуха; угарный газ горит на воздухе, а углекислый газ не горит; углекислый газ гораздо лучше, чем угарный газ, растворим в воде; углекислый газ мутит известковую воду, а угарный газ не вызывает её помутнения; угарный газ сильно ядовит и т. д. Между тем и угарный газ, и углекислый газ состоят из одних и тех же элементов — углерода и кислорода. Но при одинаковом качественном составе эти два соединения углерода с кислородом отличаются своим количественным составом.

Ещё Михаил Васильевич Ломоносов предполагал, что молекулы сложных веществ (корпускулы, как он их называл) могут отличаться друг от друга не только тем, что они состоят из разных атомов, но и числом атомов. Однако факты, которые могли бы подтвердить это предположение, ещё не были известны.

Закон, которому подчиняется количественный состав различных соединений, образованных одними и теми же элементами, непосредственно вытекает из атомного учения Дальтона.

Предположим, что имеется какое-либо соединение, молекулы которого состоят из одного атома А и одного атома В. Допустим, что к молекуле АВ будет присоединён ещё один атом В. Тогда мы получим молекулу другого вещества AB_2.

Очевидно, что в этом новом соединении на одно и то же весовое количество элемента А будет приходиться вдвое большее количество элемента В, чем в соединении АВ. Мы можем предположить и возможность образования и соединения AB_3 и A_2B_3 и т. д. Во всех этих соединениях *весовые количества элемента В, приходящиеся на одно и то же количество элемента А, должны относиться между собою, как простые и целые числа*, потому что атомы не могут входить в соединения половинками, четвертушками, восьмушками и т. д. В этом и заключается суть предсказанного и подтверждённого на опыте закона Дальтона.

Действительно, в угарном газе на 3 весовых части углерода приходится 4 весовых части кислорода, а в углекислом газе на 3 весовых части углерода — 8 весовых частей кислорода, т. е. ровно в 2 раза больше.

Другим примером, исследованным Дальтоном, может служить весовой состав некоторых кислородных соединений азота: в закиси азота на 7 весовых частей азота приходится 4 весовых части кислорода, в окиси азота на 7 весовых частей азота приходится 8 весовых частей кислорода, а в двуокиси азота на 7 весовых частей азота 16 весовых частей кислорода; 4 так относятся к 8 и к 16, как 1 : 2 : 4.

Мы видим, что учение Дальтона с поразительной лёгкостью и простотой объясняет громадное число фактов. Нет ничего удивительного в том, что учение Дальтона прочно привилось в химии. Можно считать, что громадная часть успехов, достигнутых химией в XIX столетии, объясняется тем, что химики не ограничивались одним только накоплением всё новых и новых груд опытных данных, но постоянно стремились их использовать в свете атомного учения. Этим путём удалось достигнуть удивительных успехов: для целого ряда весьма сложных по своему составу молекул химики смогли получить представление и о том, каким именно образом атомы связываются между собой в этой молекуле, а в отдельных случаях даже о том, как эти атомы располагаются в пространстве.

Я. Л. Гольдфарб

МОЛЕКУЛЯРНОЕ СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВ

Является ли вещество сплошным или в нём имеются промежутки? Для разрешения этого вопроса нам важно вспомнить некоторые факты из физики. Из фактов, относящихся к газам, очень важным является тот, что всякий газ может был сжат в весьма сильной степени. Нажимая поршнем на находящийся в цилиндре газ (рис. 44), мы можем уменьшить его объём во много раз. В приборах, выдерживающих сильное давление, можно сжать кислород до объёма, в 200 раз меньшего, чем объём, занимаемый этим самым количеством газа при нормальных условиях.

Когда мы сжимаем газ, количество его остаётся неизменным, так как выхода для газа нигде нет. Вместе с тем мы видим, что объём, занимаемый газом, при этом всё время уменьшается. Куда же девается газ при сжатии? Где умещается, например, тот газ, который до сжатия занимал объём *а б* (рис. 44). Ясное дело, что эта часть газа при сжатии была как бы вдавлена в ту часть газа, которая занимала объём *а в*. Но тогда это указывает, что газ не сплошь заполняет занимаемое им пространство, что в нём есть какие-то промежутки, в которых могут расположиться частицы такого же или другого газа. Существование промежутков между частицами газов особенно ясно обнаруживается при наблюдении

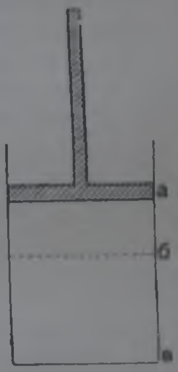


Рис. 44. Уменьшение объёма при сжатии газов.

Рис. 45. Расширение жидкостей при нагревании.

диффузии газов. Мы знаем, что пары брома проникают в находящийся над ними воздух, совершенно равномерно окрашивая его. Это указывает также на то, что пустые промежутки находятся не в каком-либо одном месте газов, а распределены равномерно по всей его массе.

Если в газе имеются промежутки между частицами, то, очевидно, частицы этого газа отделены друг от друга. Далее, из того, что газ может быть очень сильно сжат, мы заключаем, что сами частицы занимают очень незначительный объём по сравнению со всем объёмом, занятым газом.

Если существование промежутков в газах, отделяющих частицы газов друг от друга, не вызывает у нас сомнений, то может показаться странным утверждение, что такого рода промежутки существуют также в жидких и твёрдых веществах. Однако то, что нам известно об этих веществах, убеждает нас в том, что это действительно так. Доказательством может прежде всего служить способность таких веществ сжиматься и расширяться. В приборчике, изображённом на рисунке 45, мы можем проверить способность жидких веществ к сжатию и расширению.

В пробирку до самого края наливают одну из жидкостей — спирт или керосин. Затем закрывают пробкой с трубкой так, чтобы вся пробирка осталась заполненной жидкостью и чтобы часть её вошла в трубочку. При помощи каучукового колечка отмечают уровень жидкости в трубочке, помещают пробирку в охладительную смесь или в ледяную воду. Очень скоро можно заметить, что жидкость, охлаждаясь, уменьшается в объёме.

Рассуждая здесь, как и в случае газов, мы приходим к тому убеждению, что и в жидкостях имеются промежутки, не заполненные веществами. Точно так же и диффузия веществ в жидкости служит доказательством этого. Ясно, что одно вещество может проникнуть в другое лишь в том случае, если последнее не является сплошным. Если бы вещество было сплошным, не имело бы промежутков, то другое вещество не могло бы в нём поместиться, ибо одно и то же пространство не могут занимать одновременно два тела.

Уже на основании того, что такие вещества, как марганцевокислый калий и медный купорос, равномерно распределяются в воде, мы можем утверждать, что и твёрдые вещества построены из отдельных частичек, которые и располагаются между частицами воды.

Но и другие данные подтверждают это. Нам придётся здесь ограничиться только лишь описанием соответствующих опытов, так как самим убедиться в этом на опыте так легко и просто, как мы это сделали для жидких и газообразных веществ, невозможно.

Опыты эти заключались в том, что два куска различных металлов, например золота и свинца, плотно прижимались друг к другу. Когда через несколько лет исследовали эти куски, то оказалось, что частицы золота проникли вглубь свинца на 5 *мм*, и свинец проник в золото. Процесс проникновения частиц одного металла в другой идёт медленно при обыкновенной температуре, но его можно значительно ускорить, повышая температуру.

Вот ещё один интересный опыт, доказывающий, что и твёрдое вещество состоит из отдельных частиц.

Во второй половине XVII в. в Италии флорентийские учёные, желая выяснить вопрос, сжимается ли вода, поставили следующий опыт: они наполнили серебряный шар водой, герметически его закрыли и били по нему молотком. Если, — рассуждали они, — вода сжимается, то в шаре должны появиться вмятия, если же их не будет, то вода несжимаема. Серебряный шар получил впадину (но не трещины), но вопрос о сжимаемости воды этими учёными всё же не был решён[1], потому что было обнаружено совершенно неожиданное для того времени явление: вода выступила через серебряные стенки шара наружу. Так обнаружилось существование промежутков между частицами серебра.

На основании ряда различных опытов было доказано, что вещества состоят из частиц, отделённых друг от друга промежутками. Пользуясь этими же опытами, можно убедиться в том, что эти частицы не находятся в покое, а всё время движутся.

В самом деле, в явлениях диффузии мы наблюдали самопроизвольное, не вызванное какими-нибудь внешними причинами, например сотрясениями, распространение вещества. Объясняется это явление тем, что частицы, из которых состоят вещества, находятся в постоянном движении. Движением же частичек объясняется способность газа занимать всё предоставленное ему пространство. Если, к примеру, поднять поршень цилиндра, в котором находится газ, то мы не получим под поршнем пустого пространства, так как газ будет расширяться по мере движения поршня вверх, и освободившийся объём будет тотчас же заполнен находящимся в цилиндре газом. Способность газа или пара расширяться не имеет предела: если мы откроем цилиндр, то газ распространится по всему окружающему пространству. Потому-то и нельзя хранить газы в открытых сосудах, даже если они тяжелее воздуха.

Испарение веществ может служить указанием, что движутся не только частицы газообразных, но и жидких и твёрдых веществ. Если поместить в одном месте какое-нибудь пахучее вещество — жидкое (например, керосин) или твёрдое (например, нафталин), то запах его распространяется на значительное расстояние. Это указывает на то, что частички вещества рассеялись в воздухе и, попадая вместе с воздухом на слизистую оболочку носа, вызывают ощущение запаха. Наконец, в качестве доказательства движения частиц твёрдого вещества может служить уже описанный нами опыт с золотом и свинцом.

---

[1] Сжимаемость воды была впервые доказана в 1761 г.

Когда мы рассматриваем воду, мы не видим отдельные частицы воды и промежутки между ними. Быть может, легко увидеть эти частицы при рассмотрении капли воды в микроскоп? Оказывается, однако, что при рассмотрении воды даже в самый сильный микроскоп в ней нельзя обнаружить ни отдельных частиц, ни их движения. Точно так же при рассмотрении в микроскоп капли раствора, например поваренной соли в воде, мы не увидим частиц соли. Но о присутствии их в воде мы можем легко убедиться: для этого стоит только попробовать каплю раствора на язык. Вообще же говоря, утверждать, что частичек нет только потому, что мы их не видим даже и в самый сильный микроскоп, нельзя, ибо отнюдь не обязательно видеть, чтобы быть уверенным в присутствии чего-нибудь. Мы можем обнаружить присутствие многих веществ и другими способами. По запаху можно, например, обнаружить вещество меркаптан, если в воздухе его находится всего лишь стомиллионная часть миллиграмма.

Не видя отдельных частиц воды, мы, конечно, не можем видеть и их движения. Если мы смотрим на лес издалека, то он нам кажется сплошной массой, в которой мы не отличаем отдельных деревьев. В лесу может свирепствовать сильная буря, но для нас, далёких наблюдателей, этот лесной массив будет казаться неподвижным. Издалека может казаться и море спокойным, однако в нём всё время происходит передвижение больших масс воды. Но если на поверхности моря находится корабль, то это движение воды обнаруживается издалека. Подобно этому и различные вещества, например вода, нам кажутся при рассмотрении в микроскоп сплошными и спокойными. В действительности же вода не является сплошной. Частицы её движутся, но в микроскоп это движение незаметно, ибо сами частицы настолько малы, что даже при сильном увеличении их нельзя заметить. Если же мы поместим на воду своего рода кораблик или несколько их, мы всё же сможем убедиться, что наше микроскопическое «море» неспокойно, что частицы воды всё время движутся.

Если рассматривать в сильный микроскоп каплю воды (или другой жидкости), в которой взвешено какое-нибудь нерастворимое в ней вещество, например гуммигут (это смола из коры особого дерева), то глазу представляется удивительное зрелище, напоминающее движение пылинок в солнечном луче, проникшем через узкое отверстие в тёмную комнату.

Огромное количество шариков гуммигута, видимых в микроскоп, находится в непрерывном, беспорядочном движении. Они вращаются около своей оси, подпрыгивают и перемещаются зигзагами. Под очень сильным микроскопом можно проследить и зарисовать путь какого-нибудь шарика. На рисунке 46 изображены перемещения двух шариков. Можно было бы думать, что это движение происходит от незаметного сотрясения сосуда или, например, оттого, что вода неравномерно нагрета и поэтому холодные слои её, падая вниз, и тёплые, поднимаясь вверх, увлекают за собой шарики. Оказывается, однако, что это явление можно наблюдать всегда и всюду — в подвале, куда не доходят никакие сотрясения, или ночью, когда уличное движение незначительно. Точными опытами было установлено также, что причинами этого движения не являются одностороннее нагревание, освещение и т. п. Самое удивительное в этом движении — это то, что оно никогда не прекращается. Это движение названо по имени ботаника Броуна, который впервые наблюдал его, броуновским. Что же вызывает это причудливое движение шариков гуммигута? Толчки, получаемые ими от частиц воды. Непрерывно движущиеся частицы воды, налетая на шарик гуммигута отбрасывают его в сторону; но здесь на него налетают другие частицы, которые отбрасывают его по другому направлению и т. д. Под действием этих ударов шарики и совершают свои зигзагообразные движения. Удары частиц воды можно сравнить с ударами небольших морских волн о корабль. Мы можем, стоя на расстоянии, не различать самих волн, но судить о волнении по качке корабля.

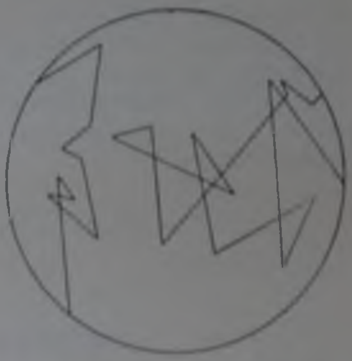


Рис. 46. Броуново движение.

Таким образом, мы узнали, что:

а) все вещества состоят из молекул, отделённых друг от друга промежутками;

б) молекулы веществ находятся в непрерывном движении.

К этому мы должны прибавить ещё следующее. Из того, что разные вещества наряду с одинаковыми свойствами обладают и различными свойствами, следует, что молекулы разных веществ различны. С другой стороны, из того, что различные образцы одного и того же вещества обладают одинаковыми свойствами, можно прийти к заключению, что молекулы, составляющие это вещество, одинаковы.

Несмотря на то, что молекулы чрезвычайно малы, удалось целым рядом способов — конечно, не непосредственными измерениями и взвешиванием — определить размеры молекул, их веса и количества в единице объёма. Один из этих способов основан на изучении броуновского движения. Способы эти слишком сложны, чтобы можно было их здесь рассмотреть. Мы ограничимся здесь поэтому только указанием на полученные результаты.

Диаметр молекулы воды составляет всего лишь около одной стомиллионной доли сантиметра.

Вес молекулы воды равен всего лишь

$$\frac{1}{270\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000}\ \text{грамма.}$$

Следовательно, в 1 *см*^{3} воды (примерно, полнапёрстка) содержится $3 \cdot 10^{23}$ молекул, т. е. число, которое изображается цифрой 3 с двадцатью тремя нулями. Нашему воображению трудно представить себе такие, с одной стороны, малые, с другой — огромные величины. Поэтому, чтобы получить более наглядное представление, прибегнем к некоторым сравнениям.

Предположим, что наша Земля со всеми находящимися на ней телами увеличилась в 1 000 000 раз. Тогда муха превратилась бы в гигантское животное длиной в 8 *км*, а молекула равнялась бы по величине приблизительно точке типографского шрифта. Положим, что мы хотим сосчитать молекулы, заключающиеся в 1 *см*^{3} воды, и так наловчились, что отсчитываем в 1 секунду 1 000 000 000 штук. Нам пришлось бы тогда безостановочно считать в течение 3 000 000 лет.

Д. И. Менделеев

УСЛОВИЯ ХОДА РЕАКЦИЙ

Химические изменения в известном направлении совершаются не только по причине сродств, действующих между участвующими в реакции элементами, но и под влиянием **условий**, в которых находятся вещества. Для того чтобы между телами, могущими реагировать, произошло взаимодействие, нужны часто многие условия, иногда весьма отличающиеся от обыкновенных условий, среди которых находятся тела в природе. Так, например, для горения угля необходимо не только присутствие воздуха, а именно, кислорода, в нём находящегося, но, сверх того, необходимо, чтобы уголь был накалён, т. е. нагрет до значительного жара. Накалённая часть угля загорается, т. е. соединяется с кислородом воздуха, и при этом отделяется теплота, которая служит для накаливания других частей угля, которые потому только и горят, что предварительно накалены. Вообще каждая химическая реакция идёт только при известных физических, механических и прочих условиях. Главнейшие условия, оказывающие влияние на ход химических реакций, суть следующие:

а) *Степень нагревания.* Химические реакции соединения идут только в некоторых определённых пределах температур, а вне их не совершаются, как видно уже из примера горения угля, указанного выше. При высоких температурах образование многих соединений не совершается, потому что образование соединения тогда вполне или частью разрушаются на составные части. В некоторых случаях влияние температуры можно объяснить тем, что при ней одно из реагирующих тел превращается из твёрдого состояния в жидкое или парообразное, или обратно. Превращение в жидкость способствует ходу реакции потому, что помогает полному прикосновению частиц, действующих друг на друга. Другая причина, которой должно приписать значение для объяснения влияния нагревания на возбуждение реакций, состоит в том, что физическое сцепление или внутренняя связь однородных частиц при нагревании уменьшается, и, таким образом, легче совершается разъединение частей взятых тел и превращение их в новые соединения. В том же случае, когда реакция требует поглощения тепла, как при разложении, потребность нагревания сама собой очевидна. На основании совокупности данных о действии высокой температуры ныне можно утверждать, что все сложные тела при более или менее сильном жаре разлагаются. Примеры подобного разложения мы уже видели, описывая разложение красной ртутной окиси на ртуть и кислород и разложение дерева под влиянием жара. Многие тела разлагаются при незначительной жаре, например та гремучертутная соль, которая кладётся в пистоны или ружейные капсюли, разлагается уже при нагревании несколько выше 120°. Множество тел, составляющих ткани животных и растений, разлагаются при температуре 200°. С другой стороны, при очень низких температурах не совершается никаких химических реакций. Это видно уже из опытов над растениями, прекращающими свои химические процессы при зимнем холоде. Рауль Пикте (1892), пользуясь очень низкими (до —200° С) температурами, получающимися при кипении сжиженных газов, подтвердил, что при температурах ниже —120° не совершается даже таких реакций, как между серной кислотой и едким натром или металлическим натрием, и даже окрашивание лакмуса кислотами начинается лишь при температурах выше —80°. Таким образом, каждая химическая реакция требует для своего хода некоторых температурных граней, и на солнце, где температуры очень высоки, или на луне, где они очень низки, без сомнения, множество наблюдаемых на земле химических превращений вовсе не могут совершаться.

Если нагревать сложное тело, способное происходить из своих продуктов разложения, и дойти до некоторой температуры, когда начинается разложение, то оно не сразу оканчивается ни по времени, ни по количеству, для определённой массы вещества, заключённого в определённый объём. Только некоторая доля вещества разлагается, другая же часть остаётся неизменной; если температура повышается — количество разложенного вещества увеличивается, и затем каждой определённой температуре отвечает своё отношение между разложенным и нетронутым веществом, пока температура не дойдёт до той, при которой сложное тело вполне распадается. Это неполное разложение под влиянием температуры называется **диссоциацией.** Можно отличить температуры начала и конца диссоциации. Если при данной температуре диссоциация совершается, но один или все продукты распадения не остаются в прикосновении со сложным, неразложившимся веществом, тогда разложение дойдёт до конца. Так, известковый камень в жару печи при её топке весь разлагается на известь и углекислый газ, потому что последний удаляется. Если же замкнуть некоторую массу того же камня в определённый объём, например положить в ружейный ствол, а потом его заклепать и накалить, то углекислый газ удаляться не может, и тогда при каждой температуре, высшей, чем начальная диссоциационная, разложится только некоторая доля камня. Разложение прекратится, когда выделившийся углекислый газ будет представлять наибольшее *диссоциационное давление*, отвечающее данной температуре. Если давление увеличить прибавкой газа, начнётся вновь соединение; при уменьшении давления будет идти разложение. Разложение при этом совершенно подобно испарению; если пар не удаляется, его давление достигает наибольшего, отвечающего температуре, и испарение прекращается. Если тогда паров прибавить, они сгустятся в жидкость; если их убавить, т. е. часть выпустить, сохраняя температуру, произойдёт испарение

б) *Влияние гальванического тока* и электричества вообще на ход химических превращений во многом подобно влиянию теплоты. Большинство сложных тел, проводящих гальванический ток, при действии его разлагаются. А вблизи тех условий, при которых происходит разложение, обыкновенно совершаются и соединения, а потому от действия электричества часто наступают соединения. Электричество можно считать также особым видом частичного движения, как и теплоту, и многое, что относится к влиянию теплоты, относится и к влияниям, производимым действием тока, только здесь разделения тела на составные части можно достигнуть иногда с большим удобством, потому что оно совершается при обыкновенной температуре. Самые прочные тела могут быть этим путём разложены, и здесь замечается та важная особенность, что составные части являются на различных полюсах или электродах. Вещества, являющиеся на положительном полюсе (аноде), носят название электроотрицательных, а те, которые являются (как, например, металлы) на катоде, т. е. на отрицательном полюсе, носят название электроположительных. К разделу первых принадлежат тела не металлические, в большинстве по крайней мере случаев, как-то: хлор, кислород и т. п., а также кислоты и сходственные с ними тела. На отрицательном же полюсе являются металлы, водород и сходственные с ним продукты разложения, или ионы. Разложение сложных тел посредством гальванического тока послужило в истории химии к весьма важным открытиям. Многие простые тела были получены этим путём. В особенности знаменито получение металлов калия и натрия, соединения которых с кислородом Лавуазье и химики его времени разлагать не умели. Англичанин Деви показал, что эти вещества разлагаются гальваническим током, и на отрицательном полюсе получил металлы калий и натрий. В последнее время, когда динамо-машины дали возможность удобно получать гальванический ток, сожигая топливо или пользуясь водяными и другими двигателями, этот приём Деви стал удобным и выгодным применить к заводскому получению металлов, например Na из сплавленного NaOH, хлора из растворов поваренной соли и т. п.

в) *Действием света* некоторые малопостоянные соединения также разлагаются. На этом свойстве некоторых веществ (например, солей серебра) основана фотография. Механическая работа тех колебаний, которые определяют световые явления, весьма невелика и потому только некоторые, вообще непрочные, тела могут разлагаться светом, по крайней мере в обыкновенных условиях. Но есть ряд химических явлений, определяемых светом и ещё очень мало разработанных в химии. Это именно явления, происходящие в растениях под влиянием света. Здесь совершаются разложения и соединения весьма разнообразные, нередко не воспроизведённые ещё искусственными способами. Так, например, углекислый газ, столь прочный относительно действия тока и тепла, разлагается в растениях, под влиянием света, выделяя кислород. Хлор соединяется с водородом не только под влиянием тепла, но и под влиянием света, показывая, что и соединения, точно так же как разложения, могут возбуждаться действием света.

г) *Механические влияния* оказывают, как и влияния предыдущих родов, своё действие как на ход химических соединений, так и на ход химических разложений. Многие вещества разлагаются от одного трения или удара. Таково, например, соединение, называемое йодистым азотом, заключающее в себе азот, йод и водород, такова и гремучертутная соль, которая от удара в ружейных капсюлях (пистонах) разлагается. Механическое трение заставляет серу сгорать за счёт кислорода, заключающегося в бертолетовой соли. Давление также влияет как на физическое, так и на химическое состояние реагирующих веществ и определяет, вместе с температурой, состояние веществ, особенно ясно проявляющееся тогда, когда вещество находится в упруго-газообразном виде, так как тогда от перемены давления сильно изменяются объёмы, а следовательно, и число точек встречи разнородных веществ. Так, сжатый водородный газ энергичнее, чем под обыкновенным давлением, действует на йод и на растворы многих солей при соответственных условиях температуры.

д) Влияние *времени* на течение реакций сказывается не только в том, что для прикосновения тел друг другом — ради возможности химического между ними воздействия — необходимо механическое перемещение, которое может совершаться лишь с определённой скоростью (так, горение твёрдого вещества в воздухе, совершаясь на поверхности, определяется её возобновлением и притоком воздуха, что совершается лишь с ограниченной скоростью), но и в том, что после полного прикосновения внутреннее перемещение, определяющее химические реакции, требует своего времени, или совершается лишь с определённой скоростью. Общеизвестен пример так называемого вылёживания или старости виноградного вина, содействующего появлению в вине особого «букета», или ароматических начал. Они происходят из кислот и спирта, содержащихся в свежем (молодом) вине в отделённом виде, а при сохранении вина дающих через взаимодействие (двойное разложение) воду и ароматические сложные эфиры. Реакция эта, протекая при обыкновенной температуре медленно, и принадлежала к числу обратимых (т. е. сложные эфиры + вода способны давать спирт и кислоту), идёт с явно ограниченной скоростью, величина которой зависит от температуры и других условий. Таких реакций, медленно идущих, много, но немалое число наиболее резких химических превращений (с которыми прежде всего и должно познакомиться при начале изучения химии) течёт столь быстро, что при их обсуждении обыкновенно время не принимается во внимание. Скорость реагирования рассматривается подробнее в физической химии, и в нашем изложении мы касаемся этого предмета лишь очень кратко.

е) Ходу химических реакций благоприятствует или препятствует то *состояние прикосновения*, в каком находятся действующие тела. Увеличить число точек прикосновения — обыкновенно значит, при прочих равных условиях, увеличить напряжённость хода реакций. Досточно указать хотя бы на один пример, что серная кислота не поглощает маслородного газа[1] при обыкновенных условиях прикосновения, но при продолжительном взбалтывании такое поглощение происходит, потому что число прикасающихся точек увеличивается весьма значительно. Когда заставляют действовать твёрдые тела друг на друга, то для полного и скорейшего их взаимодействия необходимо сколь возможно мелко перемешать их между собой, превратив в возможно мелкий порошок. Бельгийский химик Спринг показал, что порошки твёрдых тел, при обыкновенной температуре не реагирующих друг на друга, могут подвергаться реагированию при увеличенном давлении. Так, при давлении в 6 000 *атм* сера способна соединяться со многими металлами при обыкновенной температуре, а порошки многих металлов образовать сплавы. Очевидно, что здесь прежде всего должно признать увеличение точек или плоскостей прикосновения, как причину наступающего взаимодействия, которое, без сомнения, может совершаться с твёрдыми телами, как с жидкими или газообразными, потому что во всех состояниях вещества, хотя в разной мере и форме, должно признать существование внутреннего движения и подвижность частиц, образующих самые тела.

ж) Немаловажно обратить внимание на то, что внутреннее движение или состояние частей в частицах тел должно быть иным внутри вещества и на его поверхности, потому что внутри тела со всех сторон на каждую частицу вещества действуют другие такие же частицы, а на поверхности тел только с одной стороны.

---

[1] *Маслородный газ* — старинное название этилена C_2H_4 *(Состав.)*.

Поэтому состояние вещества на поверхности его прикосновения с другими телами будет или более или менее изменено и может быть таким, как при повышении температуры. Этим соображением объясняется многочисленный класс *контактных* химических реакций, т. е. возникающих от присутствия (прикосновения, катализа) некоторых особых тел. Особенно часто влияют этим способом тела пористые и порошковатые и между ними — более всех губчатая платина и уголь. Так, сернистый газ не соединяется прямо с кислородом, но от присутствия губчатой платины соединение происходит с выделением теплоты.

(*«Основы химии»*. 30-е изд., 1947)

К. М. Малин

ПРЕВРАЩЕНИЕ ЭНЕРГИИ В ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

1. Единство форм энергии

В мире нет ничего другого, кроме движущейся материи. Формы же материи и её движения многообразны. Каждому виду движения материи соответствует особая форма энергии. «Материя так же немыслима без движения, как и движение без материи» (Ф. Энгельс, Анти-Дюринг, 1945, стр. 356).

Люди давно наблюдали переходы одной формы энергии в другую. Ещё доисторический человек умел получать огонь трением. Уже в этом процессе механическая энергия переходит в тепловую. Развивающаяся же при этом теплота вызывает химический процесс, в котором химическая энергия превращается в тепло, а последнее в свет. Однако потребовалось много веков развития человечества, прежде чем оно осознало единство всех видов энергии, переход любой формы энергии в любую другую форму и сформулировало закон сохранения энергии.

Честь установления закона сохранения энергии принадлежит великому русскому учёному М. В. Ломоносову. Этот закон он впервые сформулировал в письме от 5 июня 1748 г. к математику академику Леонарду Эйлеру. В этом письме М. В. Ломоносов сформулировал и закон сохранения материи, и закон сохранения энергии. Он писал: «Все перемены в натуре (т. е. в природе. — *К. М.*) такого суть состояния, что сколько чего у одного тела отнимается, столько присовокупится к другому. Так, ежели где убудет несколько материи, то умножится в другом месте» (закон сохранения материи).

И далее он писал: «сей всеобщий естественный закон простирается и на правила движения, ибо тело, движущее своей силою другое, столько же оные у себя теряет, сколько сообщает другому, которое от него движение получает» (закон сохранения энергии).

Говоря о движении, М. В. Ломоносов не говорит о конкретной форме его. Следовательно, он имеет в виду любую форму движения материи, т. е. любую форму энергии. Говоря о законах сохранения материи и энергии, Энгельс писал: «Движение так же не сотворимо и не разрушимо, как и сама материя» (Анти-Дюринг, 1945, стр. 356).

Поскольку материя и её движение вечны, закон сохранения энергии, как и закон сохранения материи, является вечным законом природы, справедливым во всех её частях и во всех масштабах.

Какие бы другие формулировки закону сохранения энергии ни давались, принципиально они ничего нового не могут прибавить к формулировке, данной М. В. Ломоносовым. В дальнейшем этот закон только конкретизировался.

Поскольку все формы энергии могут переходить одна в другую и при этом количество энергии как таковой не может изменяться, то ясно, что между единицами измерения количеств конкретных форм энергии должны существовать вполне определённые соотношения. Эти соотношения определены сейчас для всех известных к настоящему времени форм энергии. Так как химическая энергия чаще всего непосредственно превращается в тепловую, то её обычно выражают в тепловых единицах, реже в электрических.

2. Превращение химической энергии в другие формы

Все химические превращения веществ происходят параллельно с превращением энергии.

Чаще всего химическая энергия непосредственно превращается в тепловую.

Очень многие химические реакции идут с выделением тепла. Так, при образовании 18 *г* водяных паров из 2 *г* водорода и 16 *г* кислорода, т. е. при образовании одной молекулы H_2O, выделяется 57,8 *ккал*. Постоянная температура тела человека и животных поддерживается за счёт теплоты, выделяющейся при прохождении химических реакций в организме.

Часто химические реакции сопровождаются значительным увеличением объёма образующихся веществ против объёма исходных веществ. При происходящем при этом расширении (обычно газов) совершается механическая работа. В этих случаях химическая энергия превращается в механическую.

Механическая работа человека и всех других живых существ осуществляется также за счёт перехода химической энергии реакций, протекающих в организмах, в механическую энергию. Широко применяется получение электрической энергии непосредственно из химической. Так, если погрузить в разбавленную серную кислоту две пластинки из различных металлов (например, платиновую и цинковую) и концы их соединить проводником, то по нему пойдёт электрический ток. Известно, что при этом происходит химическая реакция $H_2SO_4 + Zn = ZnSO_4 + H_2$, выделяющаяся химическая энергия которой непосредственно и превращается в электрическую энергию.

Превращение химической энергии в электрическую наблюдается и в природе — в организмах. Так, у известной рыбы торпедо из семейства скатов в теле есть особые электрические органы. Они состоят из призм, расположенных в батареях и прослоенных особым студенистым веществом. Электрические органы торпедо дают по 150 разрядов в секунду при напряжении 80 *в*. Такой разряд достаточен, чтобы парализовать рыбу или отогнать хищника. У другой рыбы — электрического угря — величина разряда достигает 300 *в*, что может быть весьма болезненно и для человека.

Реже энергия при химических процессах выделяется в виде света. Однако есть примеры и таких процессов, например свечение фосфора на воздухе.

Известны светящиеся за счёт происходящих в них химических процессов бактерии. Свечение гнилого дерва создаётся находящимися в нём бактериями.

Особенно много светящихся бактерий в морской воде. Поверхность океанов южных широт за счёт света, испускаемого такими бактериями в тёплые ночи, часто переливается зеленовато-голубоватым мерцанием. Иногда светящиеся бактерии поселяются во тьме морских глубин.

В лесах юго-восточной Австралии встречаются грибы, испускающие такой сильный свет, при котором ночью можно читать газету. Колонии таких грибов ночью кажутся разбросанными среди деревьев кусками раскалённого угля. В наших широтах известны насекомые — светляки. Конец брюшка самки этого насекомого светится зеленоватым светом. Световая энергия выделяется в результате химического процесса окисления, происходящего в особом органе свечения.

На Черноморском побережье Кавказа ночью можно видеть сотни «летающих огоньков» — это светятся летающие самцы южного светляка.

В практике часто химические процессы осуществляются не в целях получения новых веществ, а в целях получения и использования выделяющейся при этом энергии.

Так, на земном шаре ежегодно в топках сжигается больше 1 млрд. *т* угля. Понятно, что это делается не в целях получения образующихся при этом дымовых газов и золы, а в целях получения тепловой энергии, часть которой затем превращается в другие формы энергии: механическую, электрическую, световую и др.

В громадных масштабах осуществляются химические процессы в целях непосредственного превращения химической энергии в механическую. Это имеет место при применении взрывчатых веществ как на войне, так и в мирной жизни (горные разработки).

Широкое применение в практике имеет и превращение химической энергии в электрическую. Это осуществляется в так называемых аккумуляторах. В этих приборах сначала при затрате электрической энергии накапливается химическая энергия, которая затем, по мере надобности, может обратно превращаться в электрическую. В свинцовом аккумуляторе, например, две решётчатые свинцовые пластины, ячейки которых заполнены тестом из окиси свинца с водой, погружены в банку с разведённой серной кислотой. Если пластины соединить с полюсами источника тока, то ток пройдёт и через раствор серной кислоты; при этом он будет затрачиваться на прохождение химической реакции $2PbSO_4 + 2H_2O = PbO_2 + 2H_2SO_4 + Pb$, которая идёт с поглощением энергии.

Если теперь пластины соединить не с источником тока, а просто соединить проводником, то будет происходить реакция $PbO_2 + 2H_2SO_4 + Pb = 2PbSO_4 + 2H_2O$. Эта реакция идёт с выделением энергии, которая и превращается в электрический ток. Работа других электрических аккумуляторов основана на других химических реакциях.

Электрические аккумуляторы применяются для приведения в движение подводных лодок, электрокар, тягачей, электровозов, для запуска моторов на автомобилях, для телефонных и телеграфных станций, для освещения поездов и во многих других случаях.

Но откуда берётся выделяющаяся при химических процессах энергия?

Пусть у нас на нити, укреплённой в потолке, висит шар весом 1 *кГ*. Пусть расстояние шара до пола равно 4,9 *м*. Перережем нить. Шар упадёт и в момент падения на пол будет иметь скорость, равную 9,8 *м/сек*. Следовательно, шар в этот момент имеет кинетическую энергию, равную

$$\frac{1 \cdot (9{,}8)^2}{9{,}8 \cdot 2} = 4{,}9 \text{ кГм}$$

Откуда взялась эта кинетическая энергия?

Мы знаем, что она образовалась за счёт имевшейся в шаре скрытой потенциальной энергии — энергии подъёма шара на высоту 4,9 *м*, как раз равной

$$1 \times 4{,}9 = 4{,}9 \text{ кГм}$$

Аналогично этому при химических процессах выделение энергии происходит за счёт имеющейся в реагирующих веществах скрытой энергии. Эта имеющаяся в веществах скрытая внутренняя энергия называется химической энергией.

Но вся ли потенциальная энергия шара превратилась в кинетическую энергию при падении шара на пол?

Понятно, что если бы пола не было, то шар полетел бы дальше и кинетическая энергия продолжала бы выделяться. Выделенная же кинетическая энергия при падении шара на пол эквивалентна не всей потенциальной энергии шара, а лишь её разности, соответствующей положениям шара под потолком и на полу. Точно так же выделяющаяся при химических процессах энергия не даёт нам никакого представления о запасе энергии, имевшемся в исходных веществах. Выделившаяся энергия лишь показывает величину убыли химической энергии.

Так, если при образовании 18 *г* водяного пара из водорода и кислорода выделялось 57,8 *ккал* тепла, то мы из этого можем только заключить, что в исходных веществах (2 *г* H_2 и 16 *г* O_2) энергии было больше, чем её имеется в 18 *г* водяных паров, на 57,8 *ккал*.

При химических процессах происходит изменение взаимного расположения атомов в молекулах, а также изменение положения электронов.

Аналогично тому, как величина превращающейся в кинетическую энергию потенциальной энергии определяется изменением положения одного тела по отношению к другим, так и величина энергии, выделяющейся или поглощающейся в химических процессах, зависит от изменения относительного расположения частиц (молекул, атомов, электронов) в системе.

Сколько же было всего химической энергии в исходных веществах, примерно в 2 *г* водорода и 16 *г* кислорода, и сколько её осталось в 18 *г* водяных паров — из этого нельзя установить. Но известно, что при дальнейшем взаимодействии полученной воды с рядом других веществ выделение энергии может продолжаться.

3. Превращение других форм энергии в химическую

Выше мы уже показали, что химическая энергия может превращаться во все другие формы энергии. В свою очередь все другие формы энергии могут переходить в химическую энергию. Так, для разложения окиси ртути требуется непрерывный подвод тепла, непрерывный подвод тепла требуется также при образовании окиси азота из азота и кислорода. В этих случаях теплота превращается в химическую энергию. При помощи электрического тока можно разложить воду на водород и кислород. Электролизом поваренной соли получают едкий натр, хлор и водород. В этих случаях в химическую энергию превращается электрическая энергия. С превращением электрической энергии в химическую проходят также процессы получения многих металлов (алюминия, натрия, кальция и др.) из их солей или окислов, получение бертолетовой соли, получение элементарного фосфора из природных фосфатов и др.

Если хлористое серебро подвергнуть продолжительному растиранию в ступке, то происходит его разложение на хлор и серебро. В этом случае в химическую энергию превращается механическая энергия. Косвенное превращение механической энергии в химическую осуществляется в больших масштабах. Так, на гидростанциях механическая энергия падающей воды сначала превращается в электрическую энергию, а последняя широко используется для проведения химических процессов.

Намеченное XIX съездом КПСС повышение мощности электростанций в пятом пятилетии примерно вдвое, а гидроэлектростанций втрое и увеличение выработки электроэнергии на 80% открывают перспективы значительного расширения применения электроэнергии в химических производственных процессах.

Примером превращения световой энергии в химическую опять может служить разложение хлористого серебра. Известно, что хлористое серебро может сохраняться в темноте неограниченное время. При действии же света оно постепенно распадается на свои составные части, и при этом серебро выделяется в виде мельчайших крупинок. На этом процессе основано применение хлористого и бромистого серебра в фотографии. Превращение световой энергии в химическую играет громадную роль в природе. Известно, что зелёные растения улавливают энергию солнечных лучей и запасают её в форме химической энергии сложных органических соединений: клетчатки, лигнина, крахмала. Превращение углекислоты и воды в органические вещества происходит при участии содержащегося в зелёных частях растений особого вещества — хлорофилла, что впервые было установлено великим русским естествоиспытателем Тимирязевым.

Ежегодно всей растительностью земли используется на синтез органических соединений $1{,}04 \cdot 10^{17}$ *ккал*. Запасённая таким путём энергия солнца оценивается следующими цифрами: фиксированная в живой растительности земного шара $1{,}6 \cdot 10^{17}$ *ккал*, содержащаяся во всех запасах нефти $1 \cdot 2 \cdot 10^{17}$ *ккал* и содержащаяся во всех залежах каменного угля $4{,}4 \cdot 10^{19}$ *ккал*. Животные для своей жизнедеятельности получают энергию исключительно с потребляемой ими пищей, т. е. в конечном счёте они пользуются солнечной энергией, фиксируемой растениями.

ГЛАВА III

ВОДА. ВОДОРОД

> *«Химию можно назвать наукой о качественных изменениях тел, происходящих под влиянием количественного состава».*
>
> Ф. Энгельс, Диалектика природы, 1948, стр. 43.)

Ю. Н. Ловягин

ВОДА В ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА

В жизни человека вода играет не менее важную роль, чем в жизни природы. Человек пользуется водой для питья, пополняя тем самым запас воды в своём организме.

С другой стороны, человек пользуется водой для различных технических целей.

Для своих целей человек пользуется всеми видами природной воды. Главными источниками воды, конечно, являются воды ключей, рек и озёр.

Колодцы. В тех местах, где нет упомянутых, легко доступных источников воды, пользуются грунтовыми водами, устраивая для её добывания колодцы.

Такие колодцы возможно, конечно, устраивать только в тех случаях, когда водонепроницаемый слой лежит не очень глубоко. В тех же случаях, когда подземные воды находятся на значительной глубине, что сильно затрудняет рытьё обыкновенного колодца, прибегают к бурению, т. е. к долблению или сверлению глубокой узкой скважины. По вставленной в скважину железной трубе подземная вода очень часто, в силу большого давления, под которым она находилась внутри земли, сама по себе поднимается на поверхность земли и иногда бьёт фонтаном.

Искусство делать глубокие колодцы или буровые скважины знакомо людям с незапамятных времён. Китайцы устраивали такие колодцы глубиною более 300 *м*. Древние египтяне умели с помощью подобных колодцев превращать пустынные области в цветущие, плодоносные оазисы. В Европе эти колодцы впервые появились лишь в XII в. во французском графстве Артуа, откуда они и получили своё название артезианских колодцев.

Наконец, в тех случаях, когда совершенно нет природных доступных запасов воды, приходится пользоваться атмосферными водами.

Цистерны. Для сбора атмосферных вод с глубокой древности применяются так называемые цистерны. Они представляют собою вырытые в земле вместилища с водонепроницаемыми стенками, закрытые сверху. В цистерны поступает дождевая вода с гор, а в ровных местностях с крыш зданий или со дворов.

На рисунке 47 изображена цистерна в продольном и поперечном разрезах. Вода в неё поступает через боковую трубу. Берётся вода при помощи насоса, который опущен в широкий сетчатый цилиндр с песком, через который забираемая вода фильтруется. Для очистки цистерны служит люк, закрытый крышкой. Делаются цистерны и более простого устройства, из которых вода забирается вёдрами.

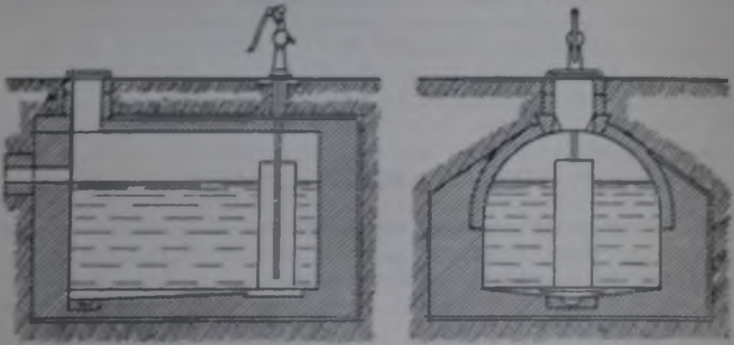


Рис. 47. Цистерны для сбора атмосферных вод *(продольный и поперечный разрезы).*

Вода для питья. Далеко не всякая вода может служить для питья. Как мы видели, природные воды могут содержать минеральные примеси (растворённые неорганические вещества), из которых многие вредны для организма человека (например соли свинца, меди и т. п.), и, кроме того, в природной воде могут встречаться бактерии, являющиеся началом заразных болезней.

Вода, содержащая механические примеси, часто бывает мутной. В громадном большинстве случаев муть эта безвредна для здоровья человека, но, несмотря на все уверения врачей-гигиенистов, человек чувствует инстинктивное недоверие к воде, не обладающей физической чистотой, — мутной, пахучей и т. п., и, если явится возможным выбирать между водой неприятной на вид, но заведомо безвредной, и водой, чистой по внешнему виду, но, быть может, содержащей бактерии, — человек почти всегда предпочитает вторую.

По своему внешнему виду питьевая вода должна быть совершенно прозрачна, безцветна, должна иметь пресный (не солёный) вкус и не обладать каким-либо запахом. Кроме того, по своему химическому составу вода должна быть совершенно безвредна. Наконец, пригодной для питья водой может считаться лишь вода с возможно меньшим содержанием микроорганизмов, особенно болезнетворных.

В больших городах трудно найти источники воды, отвечающей всем поставленным выше требованиям, и для того, чтобы снабдить население доброкачественной водой, городам приходится прибегать к очистке воды. Совершенно очистить воду, получить химически чистую воду можно, как известно, только перегонкой. Чистая дистиллированная вода представляет прозрачную жидкость без запаха, но с противным вкусом. Привычным нам приятным вкусом обладает только вода, содержащая надлежащее количество растворённых солей и газов.

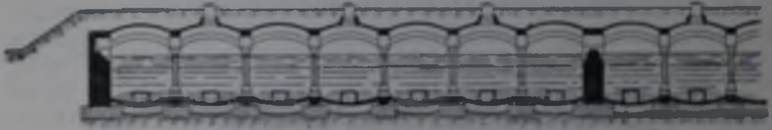


Рис. 47а. Медленно действующий фильтр.

Дистиллированная вода не только противна на вкус, но и вредна. При продолжительном употреблении дистиллированной воды для питья она выщелачивает из клеточек желудка и кишок содержащиеся в клеточном соке соли, и клеточки начинают отмирать, что ведёт к более или менее серьёзным заболеваниям. Ядовитые свойства воды некоторых горных ключей объясняются не присутствием каких-либо ядовитых веществ, а тем, что эта вода, получающаяся при таянии снегов, слишком чиста.

Питьевая вода должна содержать небольшое количество растворённых солей и газов. Поэтому в тех редких случаях, когда для очистки питьевой воды пользуются перегонкой, к дистиллированной воде прибавляют нужное количество солей и насыщают воду газами воздуха. Сравнительно недавно в Баку, где вода загрязнена нефтью, город снабжался, как упоминалось, перегнанной водою. Для этой цели имелся целый завод для перегонки морской воды. Но этот способ очень дорогой, так как требует большого количества топлива. В настоящее время Баку снабжается годной для питья водой посредством водопровода длиною в несколько сотен километров. Затратиться на устройство водопровода оказалось выгоднее, чем очищать воду перегонкой. В большинстве случаев очистка питьевой воды производится фильтрованием и различными химическими методами.

Очистка воды для питья. Для фильтрования больших количеств воды пользуются большею частью песочными фильтрами.

Существует два типа песочных фильтров: медленно действующие фильтры и быстро действующие фильтры. Медленно действующие фильтры представляют собою громадные вырытые в земле водоёмы, имеющие до 2000—4000 *кв. м* поверхности и около 5 *м* глубиною. Над водоёмами устраивается сводчатое перекрытие (рис. 47а, разрез), поверх которого насыпается обычно слой земли, прикрытый дёрном для предохранения от замерзания зимою и от нагревания лучами солнца летом. Внутри эти бассейны выложены цементом или другим водонепроницаемым материалом. На дне фильтра выкладывается слой гравия и затем слой мелкого песка. Общая толщина слоя около 3 *м*. Вода, поступая сверху, медленно проходит через песок, собирается в расположенные на дне фильтра сборные трубы, откуда затем поступает в водопроводную сеть.

На рисунке 47б изображён внутренний вид фильтра, из которого удалён песок. Видны сборные трубы и часть оставшегося гравия.

Скорость фильтрации, т. е. величина столба воды, проходящего через единицу поверхности фильтра при системе медленно действующих фильтров, не должна превышать 10 *см* в час, по-

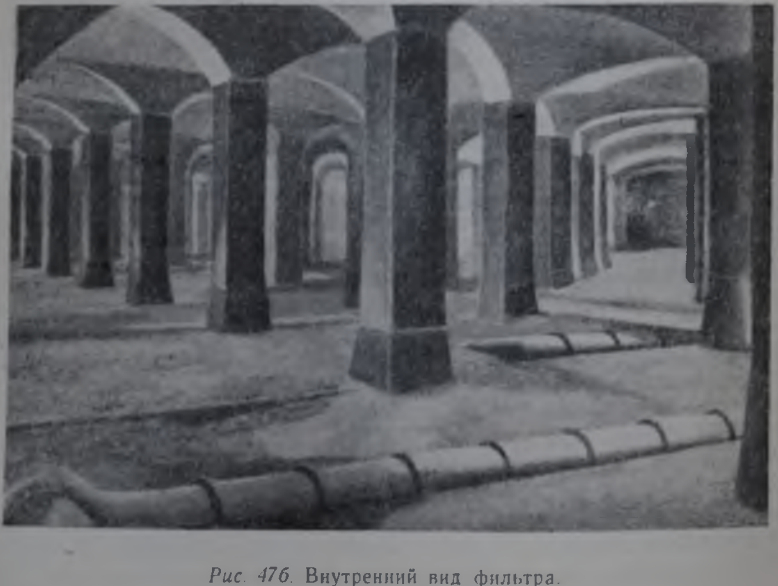


Рис. 47б. Внутренний вид фильтра.

чему и приходится устраивать фильтры с такой громадной поверхностью.

Фильтр начинает давать достаточно чистую, вполне пригодную для питья воду не сразу, а только после того, как на поверхности песка образуется плёнка из содержащихся в воде примесей. Эта фильтрующая плёнка играет главную роль при очистке воды. Кроме чисто механического задерживания мельчайших частиц, взвешенных в воде, фильтрующая плёнка способствует обеззараживанию воды и удержанию бактерий благодаря тому, что в ней развиваются микроорганизмы, уничтожающие болезнетворные бактерии. Чем толще становится илистая плёнка на поверхности песка, тем вода лучше очищается, но вместе с тем уменьшается скорость фильтрации, и, наконец, фильтр начинает настолько медленно работать, что его приходится очищать. Для этого воду из фильтра выпускают и осторожно удаляют верхний слой (30—40 *см*) песка вместе с плёнкой, после чего фильтр снова дополняется чистым, промытым песком и пускается в действие. Первые порции воды после очистки фильтра непригодны к употреблению. Необходимо выждать, пока фильтр «созреет», т. е. пока образуется фильтрующая плёнка надлежащей толщины. Чтобы не лишать население воды во время чистки и созревания фильтра или во время ремонта, устраивается всегда несколько бассейнов, из которых часть находится в работе, часть чистится, часть ремонтируется.

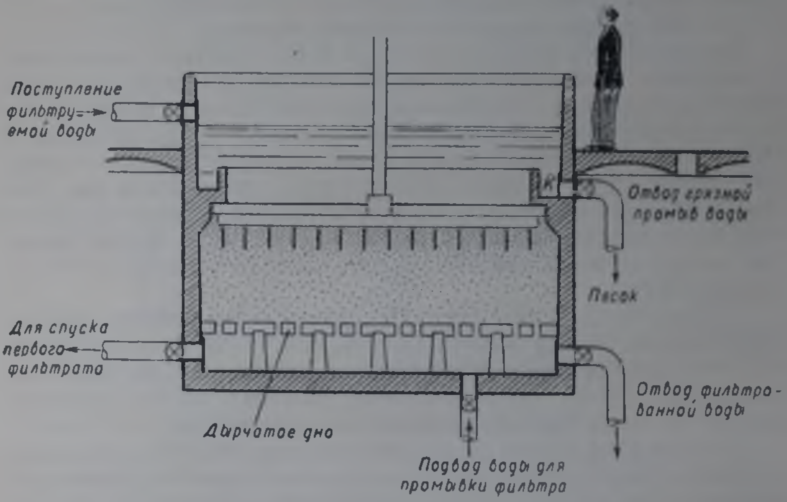

Поступление фильтруемой воды
К
Отвод грязной промыв воды
Песок
Для спуска первого фильтрата
Отвод фильтрованной воды
Дырчатое дно
Подвод воды для промывки фильтра

Рис. 48. Быстро действующие фильтры.

Фильтры быстро действующие (рис. 48, разрез) по существу мало отличаются от системы песчаного фильтра. Разница заключается только в том, что быстро действующие фильтры несравненно меньше по своим размерам и фильтрующий слой песка невелик (всего 10—12 *см*). Фильтр имеет вид цилиндрического железобетонного сосуда с двойным дном. На верхнее дырчатое дно насыпается песок. Вода, подлежащая очищению, поступает сверху, проходит всю толщу песка и выходит из-под фильтра в расположенный под ним трубопровод чистой воды. Фильтрация происходит со значительной скоростью — 1—3 *м* в час, т. е. в 10—30 раз скорее, чем при медленной системе.

Быстрое фильтрование влечёт за собою быстрое загрязнение и вызывает необходимость частой очистки фильтра, для чего фильтр промывается обратным током чистой воды в продолжение 5—10 минут. Одновременно с этим пускается в ход мешалка, в виде грабель, перемешивающая песок и способствующая отделению частиц грязи от песка. Грязная вода, получаемая при промывке фильтра, перетекает через края жёлоба и затем по отводной трубе направляется в сточную канаву. Все трубы имеют краны, при помощи которых можно направлять воду в ту или другую сторону.

Так же, как и фильтр медленно действующей системы, быстро действующий фильтр должен созреть, т. е. должна на поверхности песка образоваться фильтрующая плёнка, необходимая для задержания самых мелких частичек. Поэтому после промывки первые 10 мин. фильтрат отводится в сточную трубу.

Значительная скорость фильтрации при песочных фильтрах позволяет сильно сократить площадь земли, занятой водоочистительными приборами. Фильтры первой системы для большого города занимают площадь в несколько гектаров, песочные филь-

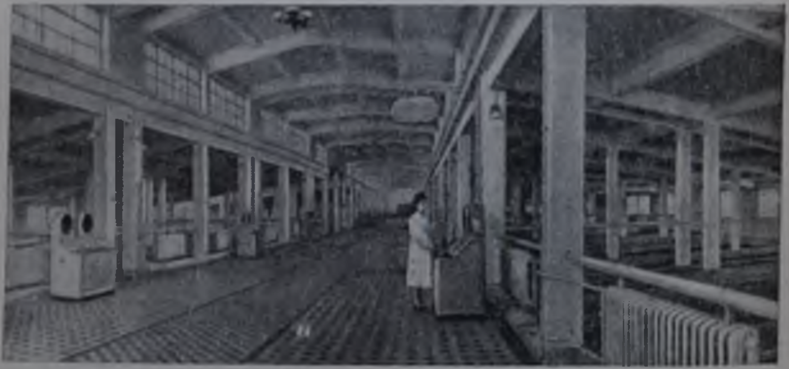


Рис. 49. Фильтры Рублёвской водоочистительной станции (Москва).

тры требуют для своей установки площади в 30—40 раз меньше. Кроме того, расходы по содержанию и уходу за песочными фильтрами значительно меньше.

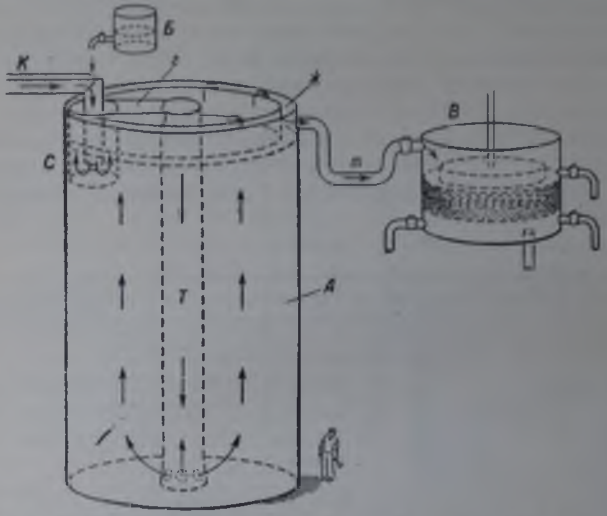


Рис. 50, Железобетонный бассейн водоочистительной станции.

При быстрой фильтрации, однако, очистка воды от микроорганизмов несколько хуже, чем при медленно действующих фильтрах. Поэтому для получения вполне доброкачественной питьевой воды, при работах на быстро действующих фильтрах применяется перед фильтрованием предварительная подготовка воды и после фильтрования окончательная химическая очистка.

Для этих целей применяются различные вещества и приёмы. На водоочистительной станции вода перед фильтрованием подвергается предварительной обработке раствором сернокислого алюминия.

Сернокислый алюминий вступает в реакцию с содержащейся в воде кислой солью Ca $(HCO_3)_2$, причём образуется гидрат окиси алюминия:

$$Al_2(SO_4)_3 + 3Ca(HCO_3)_2 = 2Al(OH)_3 + 3CaSO_4 + 6CO_2 \cdot$$ [1]

$$Al_2(CO_3)_3 + 3H_2O = 2Al(OH)_3 + 3CO_2 \cdot$$

Гидрат окиси алюминия образует сначала коллоидный раствор, который затем постепенно свёртывается или «коагулирует», образуя более или менее крупные хлопья. При образовании этих хлопьев внутри их остаются, так сказать, запутываются все мелкие взвешенные частички. Увлекаются (адсорбируются) также и находящиеся в воде в виде коллоидных растворов органические вещества, придающие воде желтоватый оттенок. Процесс этот легко наблюдать в лаборатории, если взять жёлтый настой сена, к которому прибавлена известковая вода. Если прибавить к находящейся в высоком цилиндре воде раствора соли $Al_2(SO_4)_3$ или квасцов $KAl(SO_4)_2$ и дать некоторое время постоять, то мы увидим, как постепенно образующиеся хлопья гидрата окиси алюминия будут садиться на дно, образуя жёлтый осадок, жидкость же в верхней части цилиндра будет делаться бесцветной и прозрачной:

---

[1] Здесь происходит так называемая реакция гидролиза. Сначала образуется средняя соль $Al_2(CO_3)_3$, которая, будучи солью слабого основания и слабой кислоты, разлагается водой.

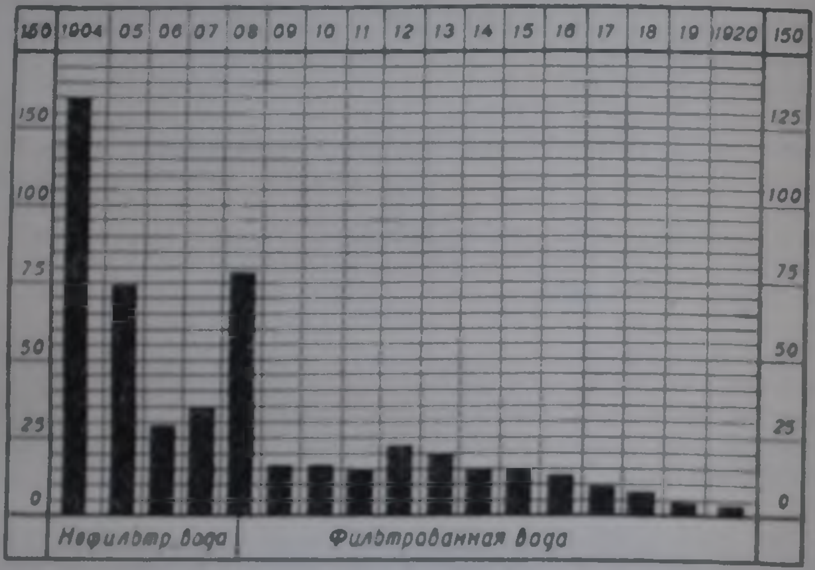


Рис. 51. Влияние обеззараженной воды на заболеваемость, смертность от брюшного тифа в г. Колумбус (*Америка*) за 1904—1920 гг. до и после устройства фильтров (*число смертных случаев на 100 тыс. человек*).

$$3Ca(OH)_2 + Al_2(SO_4)_3 = 2Al(OH)_3 + 3CaSO_4 \cdot$$

Подобный же процесс происходит и на водоочистительной станции. Вода из реки поступает по каналу сначала в громадный железобетонный бассейн *А* (см. схематический чертёж 50) на 50 000 вёдер. К втекающей в бассейн воде из бака *Б* одновременно притекает тонкой струйкой рассчитанное количество раствора сернокислого алюминия (коагулянта) и смешивается с водой в смесителе *С*. По жёлобу *г* и по центральной трубе *Г* вода направляется сначала вниз бассейна, а затем медленно (благодаря большому диаметру бассейна) поднимается кверху. В это время уже начинают образовываться хлопья, которые частью оседают на дно бассейна (называемого отстойником), частью остаются во взвешенном состоянии. Вода перетекает через край кольцевого жёлоба *ж* по трубе *т* направляется в фильтр.

Из остающихся в воде хлопьев на поверхности песка в фильтре быстро образуется фильтрующая плёнка, и из фильтра выходит совершенно прозрачная вода голубоватого цвета. Количество бактерий в воде сильно уменьшается. Фильтрованная вода уже значительно здоровее нефильтрованной (см. диаграмму, рис. 51), но всё же не вполне безвредна.

Для окочательного обеззараживания воды, т. е. для уничтожения, по возможности, последних остатков бактерий, воду обрабатывают химическими веществами, убивающими бактерии; так, на ленинградской станции до недавнего времени через воду пропускали озонированный воздух, но в настоящее время этот хороший, но дорогой способ обеззараживания воды заменён хлорированием. Для этого часть воды пропускается через аппарат, в который одновременно впускается из стального баллона струя хлора (рис. 52). Полученный крепкий раствор хлора поступает непосредственно в главную водопроводную трубу — «магистраль». Количество хлора рассчитано таким образом, чтобы за время, пока вода из магистрали начнёт расходиться по кранам в квартиры, весь хлор прореагировал с водой. В результате в воде оказывается примесь ничтожного количества соляной кислоты, совершенно безвредная. Бактерии же все или почти все за это время погибают, убиваемые кислородом в момент выделения:

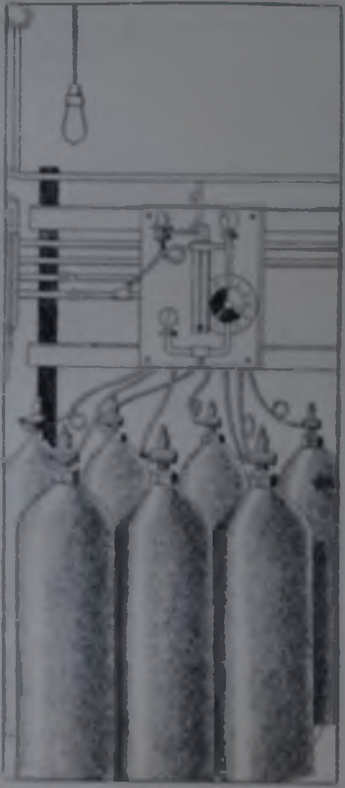


Рис. 52. Баллоны для хлорирования воды.

$$H_2O + Cl_2 = 2HCl + O.$$

Вместо чистого хлора к воде иногда прибавляют белильную известь $Ca(ClO)_2$, которая легко вступает в реакцию с содержащейся в воде углекислотой:

$$Ca(ClO)_2 + H_2CO_3 = CaCO_3 + 2HClO,$$

с образованием свободной хлорноватистой кислоты HClO, последняя же, распадаясь, выделяет кислород:

$$2HClO = 2HCl + O_2.$$

Вместо белильной извести можно пользоваться также хлорноватистокислым натрием NaClO, соль, которую обыкновенно получают непосредственно на очистительной станции электролизом раствора поваренной соли.

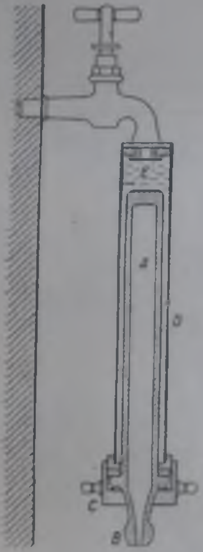


Рис. 53. Домашний фильтр.

Существует ещё много способов очистки питьевой воды. Из них следует остановиться на применении особо приготовленных фильтровальных камней. Впервые применение пористых искусственных камней для очистки воды было введено знаменитым Пастером, предложившим так называемые «пастеровские свечи» или каолиновые цилиндры с пористым черепком. В домашнем обиходе получили распространение цилиндрические фильтры. Этот фильтр привинчивается к водопроводному крану и состоит из металлического цилиндра *D* (рис. 53), внутри которого вставлен второй полый цилиндр *A* из обожжённой глины. Вода *E* проходит через слой глины внутрь цилиндра и вытекает из него наружу через наконечник *B*. Фильтр удерживается в цилиндре посредством гайки *C*.

В технике также применяются фильтры, устраиваемые из искусственных пористых камней. Камни изготовляются в виде пластин, на поверхности которых и образуется та фильтрующая илистая плёнка, которая играет главную роль при очистке воды. В некоторых случаях для того, чтобы работать под меньшим напором воды и для более удобного технического ухода за фильтром (чистка, ремонт), пластины располагаются вертикально.

Вода для технических целей. Для технических целей, главным образом для питания (наполнения) паровых котлов, часто так же, как и для питья, не всегда можно пользоваться непосредственно природной водой. Многие примеси, встречающиеся в природной воде, вредно действуют на железо котла. Так, например, если для питания парового котла пользоваться жёсткой водой, богатой кислыми углекислыми солями, то при нагревании происходит распад этих солей:

$$Ca(HCO_3)_2 = CaCO_3 + H_2O + CO_2$$

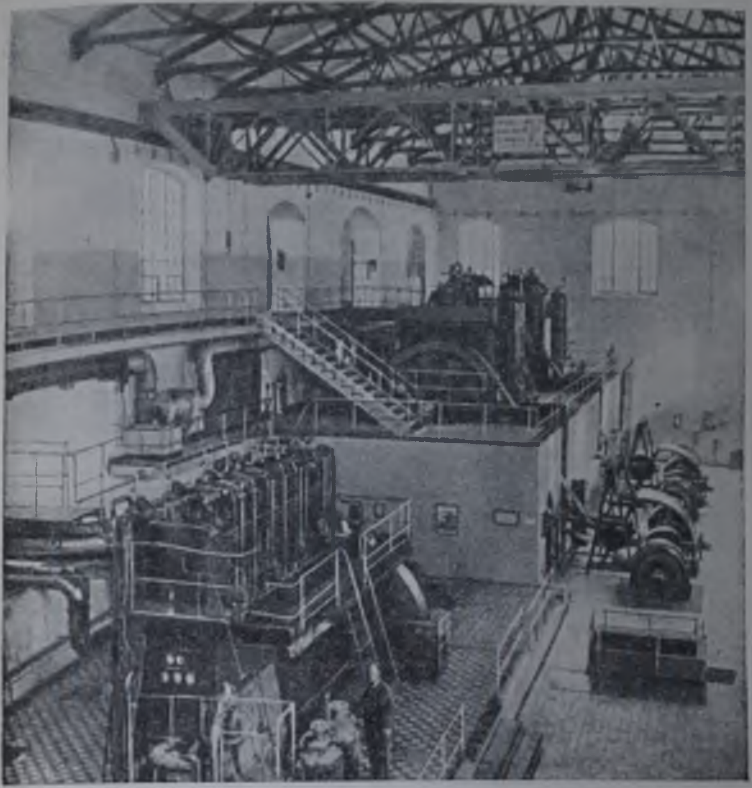


Рис. 54. Насосная станция Рублёвской водоочистительной станции.

и образующийся углекислый газ, в смеси с растворённым в воде кислородом, действуют на стенки котла — происходит разъедание железа.

При кипячении воды, содержащей кислые углекислые соли, например $Ca(HCO_3)_2$, они распадаются с выделением углекислого газа и образованием нерастворимых в воде средних солей ($CaCO_3$). Вода перестаёт быть жёсткой. В силу этого такая жёсткость называется временной жёсткостью. Жёсткость, вызванная присутствием в воде сернокислых солей кальция или магния, не может быть удалена кипячением и называется постоянной жёсткостью.

Особенно вредно присутствие в воде хлористого и сернокислого магния. Эти соли под влиянием высокой температуры частично вступают в реакцию с водой, т. е. подвергаются гидролизу с выделением свободных соляной и серной кислот. Выделившиеся кислоты растворяют железо, образуя соответствующие соли закиси железа, которые под влиянием растворённого в воде кислорода, переходят в соли окиси:

$$MgCl_2 + 2H_2O \rightleftarrows Mg(OH)_2 + 2HCl$$

$$Fe + 2HCl = FeCl_2 + H_2$$

$$2FeCl_2 + 2HCl + O = 2FeCl_3 + H_2O.$$

Соль окиси железа, вступая в реакцию с гидратом окиси магния, вновь образует исходную соль магния:

$$2FeCl_3 + 3Mg(OH)_2 = 2Fe(OH)_3 + 3MgCl_2,$$

и процесс начинается снова. Таким образом, небольшие количества магниевых солей, постоянно восстанавливаясь, могут произвести большое разрушительное действие.

Большое количество растворённых в воде солей вызывает выделение внутри парового котла твёрдых осадков, называемых котельной накипью или котельным камнем. Под влиянием нагревания кислые углекислые соли распадаются с образованием нерастворимых средних солей $Ca(HCO_3)_2 = CaCO_3 + H_2O + CO_2$, и, кроме того, при упаривании воды выделяется трудно растворимая соль $CaSO_4$ (гипс). Котельная накипь оседает или в виде рыхлой массы, или чаще в виде кристаллической корки, плотно пристающей к стенкам котла. Состав её главным образом — углекислые кальций и магний, гипс, гидрат окиси магния с небольшими примесями кремнезёма и силикатов и ещё реже гидратов окисей алюминия и железа.

Образование накипи утолщает стенки котла и тем самым уменьшает теплопроводность стенок, что вызывает излишний расход топлива. Железо котла быстро изнашивается от излишнего перегревания и особенно от ударов при механической очистке котла от накопившейся накипи. При накаливании стенок котла накипь (благодаря различным коэффициентам расширения) местами отстаёт от них иногда большими пластами. В образовавшийся зазор между стенкой котла и отставшим пластом проникает вода, встречая сильно раскалённое железо, вода быстро превращается в пар, развивается большое давление, и нередко дело кончается взрывом котла. Наконец, если накипь выделяется в виде грязи или в виде рыхлой массы, может происходить сильное вспенивание воды и загрязнение водомерных трубок, манометров и других частей машины.

Для борьбы с вредным влиянием накипи в технике употребляют различные способы.

В некоторых случаях устраиваются в котлах особые вкладыши. Самый простой вкладыш представляет собою железное корытце, расположенное в котле так, чтобы между его дном и стенкой котла оставался зазор. При таком устройстве между стенкой котла и вкладкой происходит сильная циркуляция воды, осадки взмучиваются, уносятся вверх, и образование накипи происходит исключительно на вкладыше, который легко вынуть из котла и вычистить.

В некоторых котлах устраиваются особые сборники для собирания осадков; смазывают стенки котла изнутри дёгтем или нефтяными маслами для устранения прилипания накипи к стенкам или прибегают к частому продуванию котла. Но всё это мало помогает.

Очистка воды для паровых котлов. Наиболее надёжное средство против накипи, это — химическая очистка воды, предназначаемой для питания котла.

Химическая очистка в данном случае сводится к прибавлению к воде веществ, переводящих образователей накипи в осадок. Наиболее подходящими веществами обыкновенно являются едкая известь и сода, которые при действии на кислые соли кальция образуют среднюю соль:

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = 2CaCO_3 + 2H_2O.$$

Средняя соль $CaCO_3$, как известно, почти нерастворима в воде.

Равным образом, под влиянием тех же веществ, кислые углекислые соли магния — $Mg(HCO_3)_2$ переходят в гидрат окиси — $Mg(OH)_2$, растворимый значительно менее гидрата окиси кальция $Ca(OH)_2$:

$$Mg(HCO_3)_2 + 2Ca(OH)_2 = 2CaCO_3 + Mg(OH)_2 + 2H_2O \cdot$$

Сода — Na_2CO_3 переводит сернокислый кальций — $CaSO_4$ — в менее растворимую соль — $CaCO_3$:

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 = CaCO_3 + Na_2SO_4.$$

В каждом отдельном случае, чтобы решить вопрос, какие реактивы и в каких количествах нужно взять для химической очистки воды, необходимо произвести анализ воды.

Для очистки воды в больших количествах, например на железных дорогах, где иногда приходится возобновлять запасы воды для питания паровоза, в местностях с жёсткой водой пользуются двумя большими резервуарами; в одном из них происходит осаждение и осветление, а во второй поступает очищенная вода. Один из более сложных аппаратов изображён на схематическом рисунке 55 в разрезе и по фотографии на рисунке 56.

Сырая неочищенная вода через трубу *A* втекает в ящик *B*, откуда через трубу *b* в смесительную камеру *D*. Здесь вода смешивается с раствором соды, поступающим из ящика *E* по трубке *a*. Смесь по трубке *c* перетекает в широкую трубу *C* сосуда *G*. В трубе *C* смесь воды и соды перемешивается с известковой водой, поступающей по трубе *l*. Для приготовления известковой воды постоянной крепости служит конусообразный сосуд *K*. Известковое молоко, приготовляемое в ящике *F*, поступает в сосуд *K* через трубу *f*. По трубе *k* из ящика *B* в сосуд *K* втекает неочищенная вода, взмучивая при этом частицы извести. Насыщенная известью вода, подымаясь вверх, осветляется и через трубку *l* вливается в трубу *C*, тогда как нерастворимый осадок, состоящий из избытка гашёной извести $Ca(OH)_2$ и углекислого кальция $CaCO_3$, скопляется на дне конусообразного сосуда и от времени до времени выпускается через кран *n*.

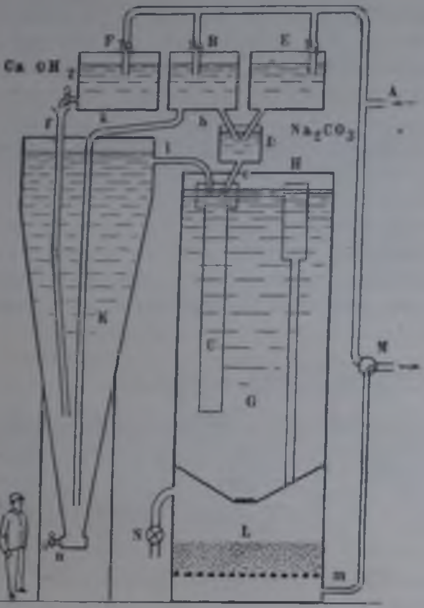


Рис. 55. Разрез аппарата для смягчения воды.

Из трубы *C* вода, смешанная с содой и известью, поступает в сосуд *G* и медленно (широкий сосуд) поднимается вверх. Осадок, образующийся при действии реактивов $Mg(OH)_2$, $CaCO_3$, оседает на воронкообразное дно сосуда *G*, откуда может быть удалён через особую прочистную трубку.

Вода, постепенно подымаясь вверх, перетекает через широкую перепускную трубу *H* на кварцевый фильтр *L* и, осветлившись здесь окончательно, поступает в резервуар для чистой воды (на рисунке не изображён) по трубке *m*.

Чистка фильтра производится пропусканием обратного тока воды; для этого, поворачивая трёхходовой кран *M*, воду, поступающую из трубы *A*, пропускают через фильтр *L* в обратном направлении, благодаря чему осевший на кварцевых зёрнах осадок взмучивается и удаляется через трубу *N*.

Одно из наиболее важных открытий в области смягчения жёсткой воды было сделано лишь в начале нашего столетия.

Материалом для смягчения служит искусственно приготовляемый силикат $NaAlSiO_4$ (соль кремниевой кислоты H_4SiO_4), называемый пермутит. Силикаты приблизительно такого же состава встречаются в природе и известны под именем цеолитов, но природные цеолиты дают менее надёжные результаты, чем пермутит. Пермутит приготовляется сплавлением кварца (SiO_2), глинозёма (Al_2O_3) и соды (Na_2CO_3).

Смягчающее действие пермутита сводится к тому, что соли магния и кальция при взаимодействии с пермутитом образуют соответствующие силикаты $CaAl_2(SiO_4)_2$ и $MgAl_2(SiO_4)_2$, которые нерастворимы в воде:

$$2NaAlSiO_4 + Ca(HCO_3)_2 = CaAl_2(SiO_4)_2 + 2NaHCO_3$$

$$2NaAlSiO_4 + MgSO_4 = MgAl_2(SiO_4)_2 + Na_2SO_4.$$

Израсходованный пермутит легко восстановить. Для этого его обрабатывают раствором поваренной соли:

$$CaAl_2(SiO_4)_2 + 2NaCl = 2NaAlSiO_4 + CaCl_2$$

$$MgAl_2(SiO_4)_2 + 2NaCl = 2NaAlSiO_4 + MgCl_2.$$

Установка для смягчения воды пермутитным методом изображена на рисунке 56. Вода, поступающая в резервуар, находящийся в верхнем этаже здания, проходит сперва через так называемый префильтр (предварительный фильтр), обыкновенный песочный фильтр, с целью удаления взвешенных частиц, которые, застревая в порах пермутита, могут уменьшить поверхность соприкосновения воды с пермутитом и ослабить действие последнего. Затем вода проходит через слой пермутита, смягчается и вытекает из прибора внизу.

Когда пермутит исчерпан, через прибор пропускают раствор поваренной соли и промывают им некоторое время слой пермутита. Происходит регенерация (восстановление) пермутита, и установка опять готова к действию.

Каждая отрасль промышленности, особенно химической, предъявляет свои требования к воде и, если нужно, применяет свои способы очистки воды. Прачечные и все промышленные

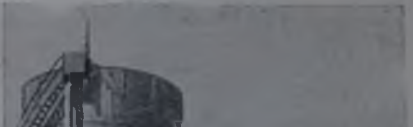


Рис. 56. Установка для смягчения воды, питающей паровозы *(кларк-процесс)*.

предприятия, употребляющие мыло, требуют мягкую воду, так как присутствие растворимых кальциевых солей осаждает мыло в виде нерастворимых солей органических кислот и уничтожает его действие:

$$2NaC_{18}H_{35}O_2 + Ca(HCO_3)_2 = Ca(C_{18}H_{35}O_2)_2 + 2NaHCO_3.$$

Красильные и ситценабивные фабрики требуют воду без щёлочно-земельных и тяжёлых металлов, особенно железа, а также кислот, так как эти вещества могут изменять окраску тканей или могут вызвать неравномерность окраски, вследствие образования осадков.

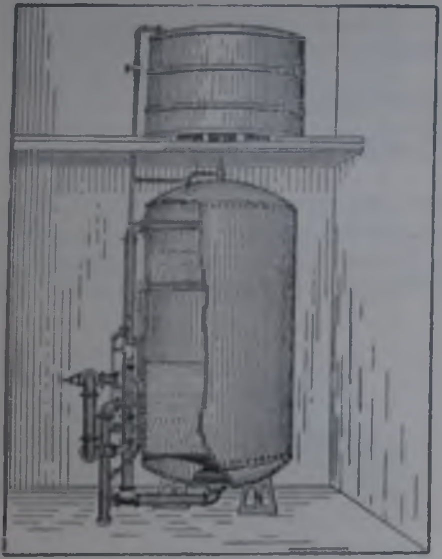


Рис. 57. Установка для смягчения воды пермутитным способом.

Бродильные производства: винокурни, пивоваренные заводы, а также и кожевенные заводы, требуют воду без бактерий и вообще органических веществ, так как в их присутствии могут развиваться посторонние микроорганизмы, которые вредно влияют на основной процесс брожения.

На сахарных заводах нельзя применять воду, которая содержит много солей, например гипса и поваренной соли, так как первый выкристаллизовывается вместе с сахаром, вторая же мешает кристаллизации сахара и т. д.

Поэтому прежде чем приступать к постройке завода, необходимо произвести химический анализ имеющейся в данной местности воды, так как неподходящая и трудно очищаемая вода может загубить производство.

Очистка сточных вод. Помимо очистки воды для питья и для технических целей, в жизни большого промышленного города важное значение приобретает также вопрос и об очистке и о правильном использовании сточных вод. Сточные воды городов и даже посёлков, особенно где много скотных дворов, неизбежно содержат массу различных отбросов и, несомненно, заражают текучие природные воды. Сточные воды, по самому своему происхождению, содержат много органических веществ, при гниении которых часто могут получаться ядовитые продукты, а, кроме того, сами по себе эти органические вещества являются прекрасной средой для развития различных болезнетворных микроорганизмов. Наконец, отбросы человеческого жилья содержат много веществ, представляющих собою ценное удобрение для земледельца, главным образом азота и фосфорной кислоты. Тело человека на один килограмм своего веса выделяет, в виде отбросов, 0,022 *г* фосфора и 0,26 *г* азота за 1 год. Химический анализ показывает, что из всех сточных вод Германии за 1 год можно было бы выделить 244 550 *т* жиров. От сухой перегонки ила, получающегося при отстаивании сточных вод, получилось бы 615 450 710 *куб. м* газа для освещения и 137 000 *т* сернокислого аммония. Сам по себе ил является прекрасным удобрением.

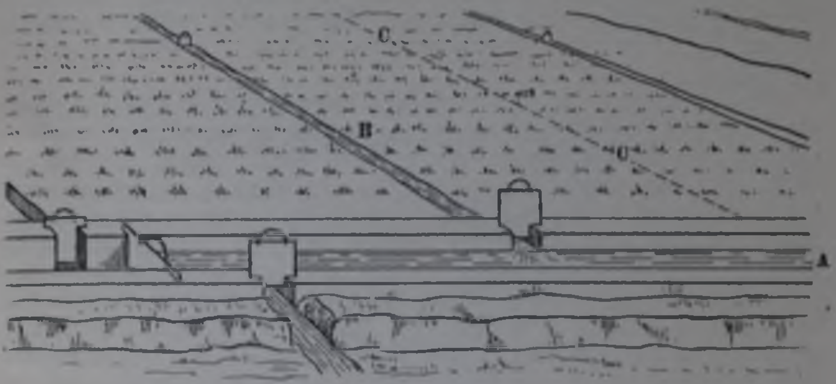


Рис. 58. Поля орошения.

Задача техники, таким образом, сводится не только к обеззараживанию сточных вод, но и к возможному использованию тех продуктов, которые из них можно было бы выделить. Попадая в почву и медленно всасываясь ею, сточные воды под влиянием деятельности различных микроорганизмов почвы мало-помалу очищаются. Процесс этот идёт очень медленно. Можно ускорить этот процесс, если установить специальную станцию, где в особых вместилищах сточные воды остаются некоторое время, причём развивающиеся в них микроорганизмы довольно быстро их обеззараживают. Такой способ очистки называется биологической очисткой.

В некоторых случаях сточные воды непосредственно употребляются как удобрения. Их выпускают (например в Москве) на так называемые «поля орошения», большие участки земли, которые благодаря этому превращаются в очень плодородные поля (см. рис. 58).

Сточные воды иногда подвергаются сперва механической очистке, пропуская их через особые решёта. Здесь происходит задержка крупных предметов, попавших в сточные воды. Затем вода поступает в отстойники, бетонные резервуары ёмкостью в 100 *куб. м.* Отстоявшийся ил собирается отдельно. Он содержит около 90% влаги и может идти на удобрение полей, но лучше его подвергнуть дальнейшей обработке. С этой целью ил помещают в «септики», особые бетонные резервуары ёмкостью 40 *куб. м.* Здесь в течение трёх месяцев ил оставляют в покое. Под влиянием жизнедеятельности микроорганизмов полужидкая масса ила разделяется в септиках на два слоя, верхний жидкий и нижний твёрдый Осадок спускают на особые площадки, где он через 3—8 дней вполне высыхает. Получается чёрная рыхлая масса, без запаха, представляющая собою богатое фосфором удобрение.

Сточные воды после отстойника смешиваются для разжижения с чистой водой и спускаются в так называемые «рыбные пруды», в которых разводятся лучшие сорта рыбы. В рыбных прудах под влиянием жизнедеятельности водной растительности, рыб и микроорганизмов вода вполне обеззараживается. Поверхность прудов легко зарастает ряской, которая закрывает доступ воздуха в воду. Для борьбы с этим злом около рыбных прудов развивается утководство. Утки, плавая, разрушают поверхностную растительность и, кроме того, ныряя, взмучивают и перемешивают ил, помогая тем самым более скорому его обезвреживанию. Таким образом, кроме хорошего удобрения, использование сточных вод вызывает развитие рыбоводства и утководства.

Иногда сточные воды предварительно обезжиривают. С этой целью сточные воды подвергают обработке бензином или сероуглеродом, которые хорошо растворяют жиры. Полученный после отгонки бензина жир на соответствующих заводах перерабатывается на мыло и стеариновые свечи. С целью лучшего извлечения жиров, около производств, отбросы которых очень богаты жирами (скотобойни, крупные кондитерские и колбасные и т. п.), устанавливаются особые жиропоглотители.

Физиологическая роль воды. Наши представления о воде не были бы достаточно полными, если бы мы не остановились на физиологической роли воды.

Физиологическая роль воды станет легко понятной, если вспомнить, что растения и животные в главной массе состоят из воды. 100 *кг* человеческого тела содержат 70 *кг*, а у детей до 90 *кг* воды. Картофель содержит 75% воды, свёкла — 88%, а огурцы — 95%.

Весь обмен веществ, необходимый для роста и развития животного или растительного организма, происходит в растворах. Растения всасывают необходимые им питательные вещества в виде уже готовых растворов из почвы. Твёрдая пища животных переводится в растворимое состояние под влиянием действия слюны, желудочного сока, сока поджелудочной железы и желчи. Раствор питательных веществ переходит в систему кровеносных сосудов и вместе с кровью разносится по всему телу, где, вновь переходя в нерастворимое состояние, питательные вещества расходуются на построение новых частей организма. В результате различных химических процессов, главным образом окисления, в организме образуются вредные для него продукты (например, мочевина), которые избытком воды выносятся наружу.

Вода, таким образом, принимает участие во всех сторонах жизни природы, и жизнь на земле немыслима без воды.

(«Химическая хрестоматия», вып. I, под. ред. *В. Н. Верховского)*

Ю. В. Ходаков

ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ ВОДОРОДА

В течение многих веков от внимания людей ускользало существование газов, этих веществ-невидимок.

Лишь постепенно и с трудом укреплялось убеждение, что газы столь же материальны, как и всё то, что доступно зрению и осязанию, и что без познания газов, без учёта их участия в различных явлениях невозможно понять химическую жизнь мира.

Одну из самых важных заслуг химика XVII в. Ван-Гельмонта перед наукой составляет то, что именно он обогатил человеческий словарь новым словом: «газ». Он назвал так невидимые вещества, «которые не могут быть ни сохранены в сосудах, ни превращены в видимое тело». Но вскоре физик Бойль придумал способ собирать и сохранять газы в сосудах. Это очень важный шаг вперёд в познании газов, и опыт Бойля заслуживает подробного описания. Он опрокинул бутыль, наполненную разбавленной серной кислотой и железными гвоздями, горлышком в чашку, в которую тоже была налита серная кислота.

Вот так описывает Бойль последующее:

«Тотчас я увидел поднимающиеся воздушные пузырьки, которые, соединяясь, понижали уровень воды, занимая её место. Скоро вся вода была вытеснена из верхнего сосуда и заменена телом, которое совсем имело вид воздуха».

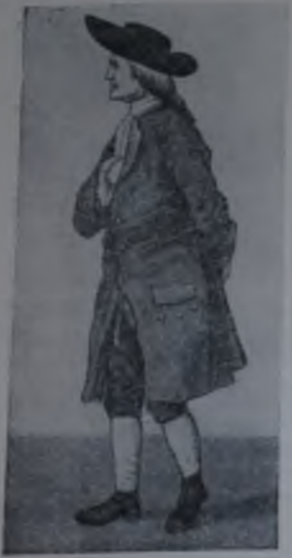
Но здесь Бойль допускает серьёзную ошибку. Вместо того, чтобы исследовать природу полученного газа, он отождествляет этот газ с воздухом.

Впрочем, исправление ошибки Бойля не заставило себя долго ждать. Удивительные свойства газа, впервые собранного Бойлем и столь недопустимо спутанного с воздухом, открыл Лемери, современник Бойля. Вот какими словами описал он свой превосходный опыт:

«Когда помещают в колбу средней величины три унции купоросного масла[1] с 12 унциями воды и подбрасывают унцию желез-

---

[1] Серной кислоты.



Г. Кэвендиш (1731—1810).

ных опилок, начинается кипение и растворение железа, которое производят бесцветные пары, поднимающиеся к верхней части сосуда. При поднесении к горлышку сосуда зажжённой лучинки пар моментально охватывается пламенем и раздаётся бурный взрыв. Затем пламя гаснет. Если же продолжать подбрасывать железные стружки, сосуд всё время будет наполнен пламенем, которое будет проникать и циркулировать до дна сосуда и гореть, как факел, над его горлышком».

«Мне кажется, — восклицает поражённый Лемери,—что эти вспышки представляют в миниатюре горючую материю, которая течёт и воспламеняется в облаках, производя громы и молнии».

«Горючий воздух» — отныне это название надолго закрепится за удивительным газом, выделяемым железом из серной кислоты. Надолго, но не навсегда, так как это название неправильно, вернее, неточно: горючи и некоторые другие газы. Но если ещё долго газ «серной кислоты и железа» будет спутываться исследователями с другими горючими газами, то никто уже не спутает его, подобно Бойлю, с обыкновенным воздухом.

Нашёлся человек, который взялся за разоблачение тайны его происхождения. Этот человек не принадлежал к числу химиков-профессионалов, как не были ими многие исследователи его времени, прославившие себя, тем не менее, великими химическими открытиями.

Знатность происхождения обеспечивала ему блестящую карьеру государственного деятеля, а случайно доставшееся богатство открывало все возможности беспечной жизни. Но лорд Кэвендиш пренебрёг и тем и другим ради того удовлетворения, которое доставляет проникновение в тайны природы. До нас не дошло даже портрета этого учёного-отшельника, если не считать портретом поневоле приводимую всюду не очень искусную карикатуру. Зато сохранились воспоминания его современников, которые прекрасно заменяют самый искусный портрет, по крайней мере с точки зрения психологической характеристики этой замечательной личности. Вот один из этих рассказов:

«Однажды Кэвендишу был представлен некий австрийский дворянин, который, по обычаю учтивых людей, начал уверять, что главной причиной его приезда в Лондон была именно надежда познакомиться с одним из величайших украшений его века — с величайшим современным естествоиспытателем. Кэвендиш не ответил на эту напыщенную речь ни слова, он стоял с опущенными глазами, растерянный и смущённый. Вдруг он замечает просвет в окружающем кольце людей и со всей стремительностью, на которую только был способен, бросается бежать и не успокаивается до тех пор, пока не чувствует себя в безопасности в своей карете, в которой и отправляется домой».

И этот человек, который в обществе возбуждал лишь недоумение, смех и обидное сожаление, в своей лаборатории совершенно преображался: он проявлял необычайное остроумие и находчивость в постановке опытов, терпение и выдержку в достижении поставленных целей, словом, все те качества, которых ему так недоставало в общении с людьми.

Скромность Кэвендиша была настолько велика, что из достоинства сделалась недостатком. Он с большими и длительными колебаниями решался на опубликование своих образцовых работ, и некоторые из них так и не увидели света до самой его смерти.

Первая опубликованная в 1766 г. работа Кэвендиша посвящена «горючему воздуху». Прежде всего Кэвендиш увеличивает число способов получения «горючего воздуха». Оказывается, что этот газ получается с одинаковым успехом, если железо заменить цинком или оловом, а серную кислоту соляной. «Горючий воздух», однако, не поддерживает горения, точно так же, как и дыхание животных, которые быстро погибают в его атмосфере. Что же касается взрывчатости «горючего воздуха», то оказывается, что это свойство проявляется лишь тогда, когда его предварительно смешают с воздухом.

Уже одних этих чисто качественных наблюдений было бы достаточно, чтобы признать «горючий воздух» не имеющим ничего общего с обыкновенным воздухом, кроме одинакового внешнего вида, или, вернее, кроме отсутствия у того и другого какого-либо «вида» вообще. Но лозунг нашего исследователя гласил: «Всё определяется мерой, числом и весом». Следуя этому лозунгу, Кэвендиш определил, какой объём «горючего воздуха» выделяется при растворении в кислоте одного и того же количества разных металлов, при какой пропорции смешения «горючего воздуха» с обыкновенным получается взрыв наибольшей силы, и, наконец, определил удельный вес «горючего воздуха». Эту последнюю задачу он выполнил при помощи опыта, настолько остроумного по своему замыслу, что его невозможно обойти молчанием.

Кэвендиш тщательно взвесил колбу с кислотой и цинком сперва до начала взаимодействия между этими веществами, а затем — после полного растворения цинка. Получилась некоторая убыль в весе, которая, по мнению Кэвендиша, как раз должна соответствовать весу улетучившегося «горючего воздуха». С другой стороны, Кэвендишу из опытов было известно, какой объём «горючего воздуха» должен выделиться при полном растворении кусочка цинка данного веса. Деля убыль веса колбы на этот объём, он и получил искомое — удельный вес «горючего воздуха». Этот удельный вес оказался необычайно малым. «Горючий газ» исключительно лёгок, он гораздо легче атмосферного воздуха. Это новая, чрезвычайно важная особенность «горючего воздуха», которая вскоре в руках людей, стоявших ближе к практике, получила замечательное применение.

Так же трудолюбиво и последовательно изучил Кэвендиш другие свойства «горючего воздуха», вплоть до измерения силы звука при взрыве его смеси с воздухом. Создаётся впечатление, что этот неутомимый исследователь не хотел ничего оставить другим. Тем не менее самые трудные вопросы, связанные с «горючим воздухом», оставались невыясненными. Откуда берётся «горючий воздух»: из металла или из кислоты? Куда он девается или, лучше сказать — во что превращается при горении и взрыве?

Наконец пробил час решения и этих загадок.

Десять лет спустя после опубликования работы Кэвендиша, в 1766 г., один известный исследователь, по фамилии Маке, сжигая «горючий воздух», сделал интересное наблюдение. Он ввёл фарфоровое блюдечко в «горючий воздух», спокойно горевший в горлышке бутыли, и к своему удивлению обнаружил, что это пламя не оставляет на блюдечке никакой копоти. При этом он заметил и нечто другое: блюдечко покрылось капельками жидкости, бесцветной, как вода. Полученную жидкость он и его помошник тщательно исследовали и нашли, что это действительно чистая вода.

Пламя без дыма и копоти было слишком удивительным явлением, чтобы не вызвать споров. Лавуазье усомнился, чтобы при горении «горючего воздуха» могла получаться вода. Для разъяснения своих сомнений он заготовил два больших сосуда, из которых один должен был доставлять «горючий воздух», а другой — кислород. Оба газа проводились посредством трубок с кранами в стеклянный колпак, где и должно было произойти их сгорание. Этот знаменательный опыт был произведён 24 июня 1783 г. в присутствии нескольких лиц. Результат не вызвал никаких сомнений.

«Полученная вода, послушная всем поверочным испытаниям, какие только можно было придумать, — как рассказывает Лавуазье, — оказалась чистой, подобно дистиллированной; она не красила вытяжки из подсолнечника[1], ни одним из известных реактивов нельзя было обнаружить в ней даже следов какой-либо примеси... Итак, — заключает Лавуазье, — вода представляет собой не что иное, как окисленный «горючий воздух» или, иначе говоря, непосредственный продукт сгорания «горючего воздуха» в кислороде, лишённый света и тепла, выделяющихся при сгорании».

---

[1] Эта попытка заменяла в те времена лакмус, синюю краску, покраснение которой служит нам сейчас признаком присутствия кислоты.

При проведении описанного опыта в числе других присутствовал случайно находившийся в Париже секретарь Лондонского королевского общества. Он сообщил, что по ту сторону Ламанша ещё в прошлом году было произведено сжигание «горючего воздуха» в замкнутом пространстве и установлено, что при этом действительно получается чистая вода. Кто же опередил замечательного французского химика? — Не кто иной, как Кэвендиш, который спустя двадцать лет возвратился к своей старой теме. Его метод отличался от метода Лавуазье только тем, что он не сжигал водород, а взрывал электрической искрой смесь его с $2^1/_2$-кратным объёмом воздуха. Взорвав таким образом 500 тыс. гран[1] «горючего воздуха», он сумел собрать до 135 гран воды, которая не имела ни вкуса, ни запаха и при испарении досуха не оставляла ни малейшего заметного осадка.

Медлительный Кэвендиш обнародовал свой отчёт в Лондонском королевском обществе лишь в 1784 г., тогда как Лавуазье изложил свои результаты перед Парижской академией наук 25 июня 1783 г., на целый год опередив своего соперника. В открытии сложного состава воды участвовали, таким образом, кроме Лавуазье и другие лица, в том числе Джемс Уатт, которому за рубежом неправильно приписывается честь изобретения паровой машины. Но Лавуазье яснее всех выразил великую истину: отныне вода не должна считаться простым веществом, ибо доказано, что она образована соединением «горючего воздуха» с «жизненным воздухом».

Лавуазье, однако, не счёл вопрос поконченным. Получив воду посредством синтеза, т. е. соединения образующих её элементов, он захотел осуществить обратное — анализ, т. е. разложение воды на элементы.

Раскалённое в жару кузнечного горна железо на воздухе окисляется, т. е. присоединяет кислород: не в состоянии ли оно отнять кислород от воды? Опыт оправдал эту надежду. При пропускании водяного пара над раскалёнными железными стружками, помещёнными в ружейном стволе, кислород действительно соединяется с железом и «горючий воздух» освобождается. Таким образом, теоретические соображения блестяще подтвердились, а попутно открылся новый способ получения «горючего воздуха».

Но и на этом дело не кончается. «Нельзя ли, — спрашивает себя Лавуазье, — получить теперь обратно воду, пропуская «горючий воздух» над раскалённой окисью железа, т. е. заставляя его, в свою очередь, отнимать кислород от окиси железа, вместо того чтобы соединяться со свободным кислородом?» И опять его ожидания увенчиваются полным успехом: он получает вновь воду и металлическое железо в виде тончайшего порошка.

---

[1] Аптекарская мера веса, равная 0,0622 *г*.

Доказательством сложного состава воды завершился круг великих химических открытий, сделанных в XVIII в. В результате горизонты химической науки настолько расширились и прояснились, что явилась необходимость заменить старинные, случайные и несогласованные одни с другими названия различных веществ новыми, которые указывали бы на взаимные отношения этих веществ, на их химическое родство.

Инициатором выступил молодой соотечественник Лавуазье и его последователь — Гюитон де Морво. В разработанной им новой химической номенклатуре «горючий воздух» занял место в списке элементов под именем «водорода». Действительно, уже не было никакого смысла настаивать на старом названии «горючий воздух» с тех пор, как, с одной стороны, было установлено отсутствие чего-либо общего между этим газом и воздухом, а, с другой — сделались известны и другие горючие газы. Новое название было очень удачно. Оно непосредственно указывало на отношение этого элемента к важнейшему его соединению — воде и сделалось поэтому общепринятым на всех языках мира[1].

(*«Водород»*, 1937)

---

[1] Водород и сложный состав воды были известны китайским мудрецам задолго до европейцев. Только в китайских учебниках водород называется иначе; его название слагается из значков, изображающих «огонь» и «газ».

ГЛАВА IV

КИСЛОРОД. ВОЗДУХ

> *«...В химии теория флогистона своей вековой экспериментальной работой впервые доставила тот материал, с помощью которого Лавуазье смог открыть в полученном Пристли кислороде реальный антипод фантастического флогистона и тем самым ниспровергнуть всю флогистонную теорию. Но это отнюдь не означало устранения опытных результатов флогистики. Наоборот, они продолжали существовать; только их формулировка была перевёрнута, переведена с языка теории флогистона на современный химический язык; и постольку они сохранили своё значение».*
>
> (Ф. Энгельс, Диалектика природы, 1948, стр. 29.)

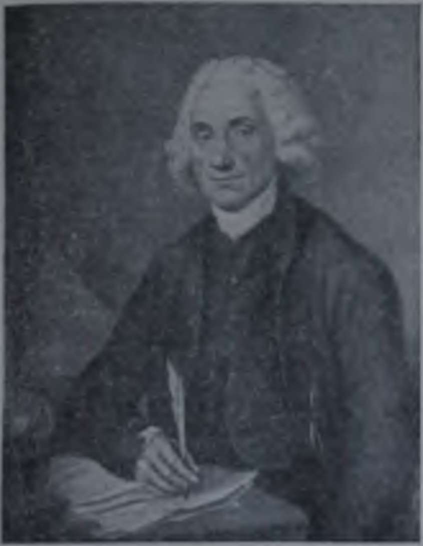
Б. Яффе

ПРИСТЛИ НАХОДИТ ГАЗ, ПОДДЕРЖИВАЮЩИЙ ЖИЗНЬ

Родившись в 1733 г. в Фильдхэде, близ Лидса, в семье строгих кальвинистов, Пристли получил духовное образование. В возрасте 22 лет он был отлучён от государственной церкви, осуждён на вечное проклятие и стал настоятелем диссидентов[1] в Суффольке, получая 30 фунтов в год. Пристли был принуждён заниматься преподаванием, чтобы пополнять свои скудные средства. Этот знаток французского, итальянского, арабского, сирийского и даже халдейского языков преподавал в школе с 7 час. утра до 4 час. пополудни, от 4 до 7 он давал частные уроки, кроме того, в каждую свободную минуту, которую ему удавалось урвать от своих обязанностей, он составлял английскую грамматику. Несколько лет спустя Пристли, преподавая языки в Академии, в Варрингтоне, посетил несколько лекций по элементарной химии и некоторое время изучал анатомию, прослушав курс лекций по этому предмету.

---

[1] *Диссиденты* — религиозная секта. *Настоятель* — священник.



Дж. Пристли *(1733—1804)*.

В возрасте 34 лет Пристли, живя в Лидсе, выбивался из сил, чтобы содержать семью на свои скудные средства. Он не пользовался особенной популярностью у местных жителей и, кроме того, подобно Демосфену, имел серьёзный дефект речи. И всё же этот многосторонний англичанин находил время между своими обязанностями и метафизическими размышлениями для более практических дел. Во время одной из своих случайных поездок в Лондон он познакомился с Вениамином Франклином, который пробудил в нём интерес к электричеству. Пристли задумал написать историю этого предмета, для чего ему понадобилось ознакомиться с целым рядом статей и книг, снабдить которыми обязался Франклин. Это было началом его карьеры учёного. Пристли сам пишет: «В процессе работы над историей электричества я был поставлен в необходимость проверить некоторые спорные факты, и это постепенно привело меня к более широкой области оригинальных опытов, для постановки которых я не жалел никаких доступных мне издержек».

Некоторой частью своей славы Пристли обязан общественному пивоваренному заводу, находившемуся по соседству с его домом в Лидсе. На этом заводе, где всегда распространялся сильный запах, он проводил всё своё свободное время, производя опыты с газом, выделяющимся из огромных чанов во время процесса приготовления пива. Он зажигал деревянные лучинки и подносил их к пузырькам бесцветного газа, выделяющимся из бродящего пива. Это было странным занятием, и рабочие на заводе качали головами, когда видели, как он сгибается над бродильными чанами в середине очень жаркого лета. Пристли был слишком занят своими исследованиями и не замечал сдерживаемого смеха окружающих. Его познания по химии были невелики, но он был хорошим наблюдателем. Он заметил, что этот бесцветный газ обладал способностью тушить горящие деревянные лучинки. Он предположил, что это тот же «постоянный воздух» («fixed air»)[1], который 15 лет назад получил Джозеф Блэк, сын шотландского торговца вином, при нагревании известковых раковин. Могло ли это быть действительно так? Не имея возможности получать этот газ в достаточных количествах на пивоварне, Пристли научился получать его у себя дома. Он попробовал растворить этот газ в воде. Газ не отличался значительной растворимостью, но некоторое количество его смешивалось с водой. Таким способом в продолжение двух-трёх минут Пристли приготовил, как он рассказывал, «стакан чрезвычайно приятной газированной воды, мало чем отличавшейся от сельтерской воды», что мы теперь называем газированной водой, — очень слабокислым раствором углекислого газа в воде. Королевское общество было чрезвычайно заинтересовано, и его попросили повторить этот опыт перед членами Колледжа врачей. Пристли обрадовался этой возможности и, когда во время опыта пузырьки газа проходили через воду, он попросил кого-нибудь из присутствующих попробовать этот раствор. Напиток этот очень понравился, и его рекомендовали лордам адмиралтейства как возможное лекарство при морской болезни. Пристли был награждён золотой медалью общества за это открытие — это был первый триумф этого любителя-химика.

---

[1] Углекислый газ.

Пристли был счастлив. Он занялся другими химическими опытами: попробовал нагревать поваренную соль с серной кислотой и получил вещество, которое не удавалось получить другим исследователям до него, так как Пристли стал собирать получающийся газ над жидкой ртутью, а не над водой, как это делали его предшественники. Полученный им бесцветный газ обладал острым раздражающим запахом. Пристли попытался растворить его в воде. Сотни объёмов этого газа легко растворялись — вода его жадно поглощала. Неудивительно, что этот газ не был выделен раньше: он растворялся в той воде, над которой его хотели собрать. Раствор этого газа в воде — это хлористоводородная или соляная кислота. Она в настоящее время имеет широкое применение и употребляется для очистки металлов и при изготовлении клея и желатина. Это было новым вкладом в химию, сделанным этим простым любителем.

Община Джозефа Пристли не понимала его интереса к бутылям и колбам. Казалось, что он служит двум идеям. По этому поводу начало проявляться некоторое недовольство, но Пристли был слишком увлечён своей наукой, чтобы обращать на это внимание. Он те-

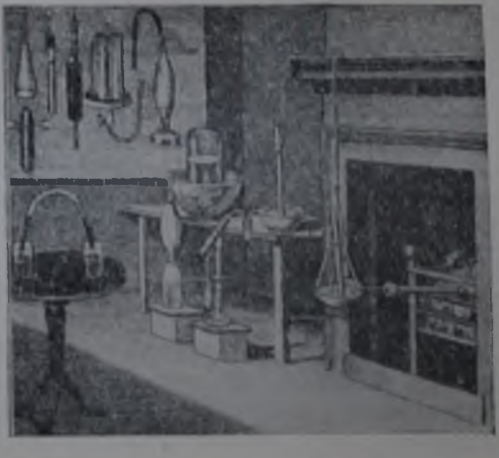


Рис. 59. Лаборатория Дж. Пристли.

перь был занят нагреванием аммичной воды и собиранием другого бесцветного газа над ртутью. Этот газ тоже обладал характерным раздражающим запахом. Пары аммиака наполняли комнату Пристли, когда он наклонялся над открытой печью, помешивая угли, чтобы они лучше горели.

Пристли обогатил науку первым точным исследованием способа приготовления и свойств чистого аммиака — того газа, который теперь с таким успехом применяется в холодильном деле. Нужды нет, что от этих паров его глаза сильно слезились, и что он почти ослеп, а обитатели его дома принуждены были выходить наружу, чтобы не задохнуться! Эти опыты приводили его в большой восторг. Во время одного из своих опытов Пристли привёл в соприкосновение эти два сухих, бесцветных, неприятно пахнущих газа — хлористый водород и аммиак. Результат удивил его. Газы внезапно исчезли, а вместо них образовалось красивое белое облако, которое постепенно осело в виде тонкого белого порошка. Произошло значительное весьма глубоко идущее химическое изменение. Два резко пахнущих газа соединились и образовался белый порошок, не обладающий запахом — хлористый аммоний, который теперь употребляется в качестве электролита в сухих батареях.

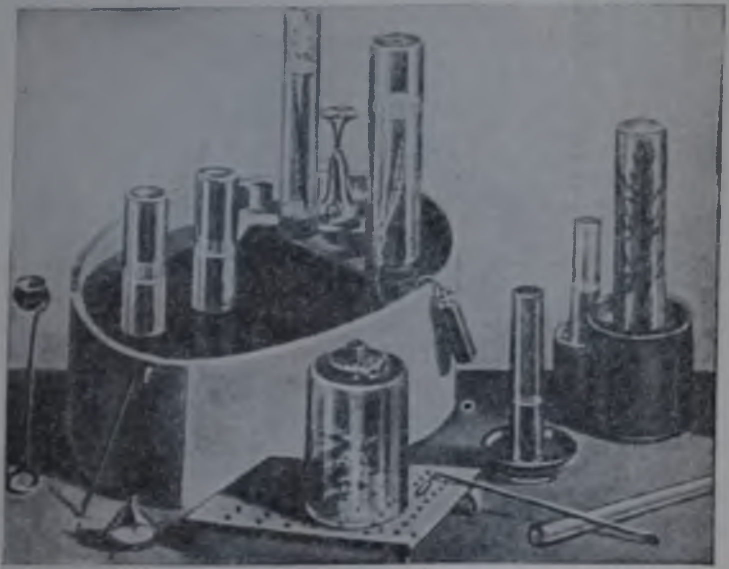


Рис. 60. Приборы, употреблявшиеся Пристли для своих опытов.

Так, в продолжение немногих лет Пристли, яркий приверженец науки, сделал ряд замечательных открытий. Он всё больше и больше времени проводил в своей лаборатории, приспособленной для его работ. Химия окончательно взяла его в плен. Научный мир начал всё больше и больше узнавать о его работах.

Вскоре он получил предложение сопровождать капитана Джемса Кука в его втором путешествии в южные моря. У него было искушение принять это предложение, но, к счастью, нашлись препятствия к его участию в этом путешествии. Он остался дома и продолжал работу над постановкой большого опыта, принесшего ему громкую славу.

Опыты Пристли над различными газами или «воздухами», как он их называл, сделали его очень искусным в их приготовлении и собирании. До него различные газы изучались путём собирания их в бычьи пузыри. Это был очень несовершенный метод, притом же пузыри были непрозрачны. Пристли ввёл и разработал простой современный метод собирания газов. Он наполнял бутыль ртутью и располагал бутыль так, что её горлышко находилось ниже уровня ртути в сосуде. Выделяющийся газ вытеснял ртуть из бутыли в сосуд и оказывался заключённым в крепком прозрачном цилиндре.

Работая над газами, нерастворимыми в воде, Пристли наполнял бутыль и сосуд водой, более лёгкой и гораздо более дешёвой, чем ртуть, как это до него делали Хэле и Мэйов. Введение этого способа явилось существенным прогрессом в методике изучения газов[1].

Пристли нагревал большое число твёрдых веществ на огне своего очага. Теперь он занялся утилизацией солнечного тепла при помощи увеличительного стекла. Концентрируя солнечные лучи при помощи линзы, он нашёл, что может получить достаточное количество тепла, чтобы зажечь дерево и другие твёрдые тела. Наконец, он достал очень большую линзу, имевшую 30,5 *см* в диаметре, и ему удалось нагреть до высокой температуры многие природные и искусственные вещества. Он помещал эти твёрдые вещества под стеклянный колокол, устроенный таким образом, что образующийся в нём газ, выходя наружу, попадал в бутыль, помещённую над ртутью. Зажигательная линза помещалась вне колокола, и солнечное тепло концентрировалось на подвергавшемся исследованию веществе. При помощи этого прибора Пристли решил в воскресенье 1 августа 1774 г. «выделить воздух из mercurius calcinatus per se» вещества, представляющего собой красный порошок, известный ещё Геберу и получаемый при нагревании ртути на воздухе. «Действительно я нашёл, — пишет он в своём отчёте, — что воздух начал вскоре выделяться».

Но и в этом не было ничего необычайного. Другие учёные тоже получали газы при нагревании твёрдых тел. За три года до этого Шееле, знаменитый шведский аптекарь-химик, пришёл точно к таким же результатам, собрав газ, названный им «воздухом эмпирей» «empyrea air». 100 лет назад Роберт Бойль нагревал совершенно такой же красный порошок и получил обычную ртуть. Стефан Хэле тоже выделил газ из селитры, но не догадался о связи этого газа с воздухом. Алхимик Экк из Зальцбаха произвёл этот опыт три столетия назад в Германии, и всё же учёный мир не был тогда так взволнован, так как ни одно из свойств этого газа не было открыто.

---

[1] Пристли выделил и собрал также сернистый газ.

В лаборатории Пристли горела свеча. Его заинтересовало, какое действие окажет выделенный им газ на пламя свечи. Из простого любопытства он поместил свечу в бутыль с этим газом. Пламя не потухло; наоборот, свеча разгорелась с необычайной яркостью. Он был страшно заинтересован, но совершенно не находил объяснения этому явлению. Он внёс кусок раскалённого каменного угля в другую бутыль с этим газом и увидел, что уголь даёт искры и трещит, совсем как горящий лист бумаги, смоченный раствором селитры. Уголь скоро весь сгорел до конца. Пристли был удивлён. Тогда он внёс в бутыль раскалённую докрасна железную проволоку. Металл накалился до белого каления и пылал как «одержимый духами». Волнение Пристли не имело границ.

Это случайное внесение в бутыль с газом горящей свечи произвело своего рода революцию в химии. Вспоминая об этом достопамятном случае несколько лет спустя, Пристли писал: «Я теперь не могу вспомнить, что я имел в виду, производя этот опыт, но у меня не было ни малейшего представления о том, что получится. Если бы передо мной не стояла зажжённая свеча, я наверное никогда бы не произвёл этого испытания, и вся цепь моих дальнейших опытов, относящихся к этому виду воздуха, не была бы осуществлена... Многое больше зависит от случая, чем от заранее намеченного плана или предвиденной теории».

В это время Пристли не имел понятия о действительной природе этого газа. Он думал, что этот газ не простое вещество, которое мы теперь знаем как кислород, а какое-нибудь необычайное соединение. Но он продолжал изучать этот таинственный активный газ, который выделялся из красного ртутного порошка. Нащупывая пути, стеснённый скудными средствами, с небольшим запасом знаний по химии и без ясной цели перед собой, он всё же продолжал исследовать свойства этого газа. Однажды раньше он его тоже случайно выделил из селитры, но не исследовал тогда его свойства. Настоящий учёный определил бы характер выделенного газа, как только получил бы его, но Пристли не был настоящим исследователем.

В то время воздух, которым мы дышим, рассматривался как чистое, простое, элементарное вещество, вроде золота или ртути. Раньше сам Пристли высказал предположение, что вулканы создали атмосферу, снабжая землю воздухом, вначале воспламеняемым, затем теряющим свою способность гореть благодаря промывке в воде и окончательно очищающимся благодаря произрастанию растений. Он пришёл к заключению, что растительный мир является величайшей восстанавливающей силой в природе, так как заметил, что если поместить растения в запаянные сосуды, в которых перед тем дышали животные или горела свеча, то воздух опять становится пригодным для дыхания. Но как раз, приблизительно в это же самое время, Даниэль Рэзерфорд, медик, занимавший кафедру ботаники в Эдинбургском университете, нашёл, что в воздухе содержатся два различных вещества. Он поглотил небольшое количество углекислоты из воздуха при помощи известковой воды, которая при этом стала мутной, как молоко. Затем он заставил маленькое животное дышать в ограниченном объёме воздуха, причём после поглощения углекислого газа около четырёх пятых исследуемого объёма воздуха осталось в виде инертного газа. Этот неактивный газ воздуха был назван Шапталем «рождающим селитру» («nitrogenium»), потому что он содержится в селитре (nitrum).

Пристли читал об этих опытах. Он начинал догадываться. Он очень сильно нагрел в воздухе свинец и наблюдал, как он постепенно становится красным. Этот красный порошок он обработал точно таким же способом, каким он обрабатывал красный порошок ртути. Пристли принялся танцевать от радости, так как он опять выделил кислород. Он получил подтверждение своей догадки, что кислород, полученный как из ртутного красного порошка, так и из красного свинца, первоначально происходит из атмосферы. «Может быть это и есть тот воздух, который является причиной способности атмосферы поддерживать жизнь, — подумал Пристли, — я должен испытать, насколько полезным для здоровья является этот воздух».

В марте 1775 г. Пристли производит необычайный опыт в большом замке лорда Шельбурна в Бовуде близ Кална. Накануне ночью он расставил мышеловки в виде маленьких железных клеток, из которых легко можно было вынуть мышей живыми. Но что же он собирается делать с мышами? Они должны помочь ему открыть одну тайну. Он берёт два одинаковых стеклянных сосуда, один из них он наполняет кислородом, а другой — простым обычным воздухом, и помещает их над водой.

На следующее утро он вынимает из мышеловки одну из пойманных мышей, берёт её и быстро вносит в сосуд с обычным воздухом, опрокинутым над водой. Он сажает мышь на высокую платформу внутри сосуда над поверхностью воды. Это маленькое животное не должно утонуть. Затем в другой сосуд, наполненный кислородом, он сажает вторую живую мышь с теми же предосторожностями.

Сидя на стуле и наблюдая за своим любопытным опытом, Пристли развлекает себя игрой на флейте. Он не имеет представления, как долго ему придётся ждать. Вдруг он перестаёт играть. Мышь, помещённая в сосуд с обычным воздухом, начинает показывать признаки недомогания и усталости. Пристли отбрасывает свою флейту и смотрит на часы. Через 15 минут мышь впадает в беспамятство. Пристли хватает её за хвост и быстро, но осторожно извлекает её из тюрьмы. Слишком поздно — мышь околела. Он смотрит на мышь во втором сосуде, содержащем кислород. Что же происходит с этой маленькой узницей? Ничего, возбуждающего тревогу. Она продолжает бодро двигаться. Проходит ещё 10 минут. Пристли всё ещё продолжает наблюдать за животным. Мышь начинает проявлять неоспоримые признаки усталости. Её движения становятся вялыми — она впадает в оцепенение. Пристли бросается её освободить и вынимает из сосуда, как кажется на первый взгляд, мёртвой. Она страшно похолодела, но её сердце ещё бьётся. Пристли счастлив. Он бежит к огню, старается отогреть эту маленькую мышку и смотрит, как она постепенно оживает. Через 5 минут она опять такая же деятельная, как и раньше. Он не верит своим глазам. В продолжение 30 минут это животное находилось в его кислороде и выжило, тогда как первая мышь, помещённая в обычный воздух, погибла в течение половины этого времени!

В чём же причина этого явления? Возможно ли, что его кислород чище обычного воздуха, или же обычный воздух содержит какое-нибудь вещество, которое убивает жизнь? Возможно, что это простая случайность. Всю эту ночь Пристли размышляет о мышах и о своём кислороде. Он начинает подозревать, что его кислород, по крайней мере, так же хорош, как обычный воздух. Однако он «не может с уверенностью утверждать, что кислород лучше, основываясь на том, что одна мышь смогла прожить четверть часа в определённом объёме воздуха, потому что не исключена возможность, что другая мышь сможет прожить в нём полчаса», — говорит он себе. И следующее утро застаёт Пристли повторяющим опыт с мышами, чтобы раскрыть эту тайну воздуха.

Пристли берёт тот стеклянный сосуд, в котором мышь выжила целых 30 минут в прошлый день. В этом сосуде ещё содержится кислород. Он собирается употребить этот воздух вторично, хотя последний уже загрязнён дыханием первой мыши. Пристли предполагает поместить сразу две или три мыши в этот сосуд, но отказывается от этой мысли: был случай, когда одна мышь растерзала другую, хотя у них было достаточно пищи на двоих. Итак, он берёт одну единственную мышь и помещает её на плавающую платформу. Пристли сосредоточенно наблюдает за ней 30 минут, в течение которых она чувствует себя совершенно здоровой. Но постепенно мышь впадает в дремотное состояние, и «так как я не позаботился о том, чтобы поместить сосуд в тёплое место, мышь околела от холода. Во всяком случае мышь прожила в три раза больше, чем она, по всей вероятности, могла бы выжить в таком же количестве обычного воздуха, и поэтому я не считал нужным, — писал Пристли, — продолжать дальнейшие опыты с мышами».

Пристли был теперь убеждён в полезности своего кислорода для здоровья. Опыты с мышами это несомненно доказали.

На этом он мог бы прекратить свои опыты, но Пристли обладал любознательностью истинных естествоиспытателей. Он решил поставить себя на место скромной мыши и испробовать этот газообразный источник, поддерживающий жизнь. Это опасное дело — вдыхать неизвестные газы, но доктор Мэйов за 100 лет до него сделал наблюдение, что один газ («селитряно-воздушный дух», полученый им из селитры) при вдыхании его в лёгкие придаёт красную окраску артериальной крови. Пристли заинтересовался, не окажет ли такое же действие и его кислород. Он вдохнул некоторое количество свежеприготовленного кислорода через стеклянную трубочку и с удивлением отметил, что ощущение в лёгких мало отличается от дыхания обычным воздухом, но, как отмечает Пристли, «мне казалось, что некоторое время потом я дышал чрезвычайно свободно и легко. Кто знает, может быть этот чистый воздух станет со временем модным предметом роскоши. До сих пор ещё только моя мышь и я пользовались привилегией дышать им». Пристли предвидел возможность многих практических применений этого очень активного газа — «он может быть очень полезным при некоторых тяжёлых болезнях лёгких, когда (как он объяснял в принятой им терминологии флогистона) обычный воздух не может достаточно быстро удалять флогистированные испорченные испарения». В наше время кислород действительно применяется при воспалении лёгких, когда лёгкие настолько уменьшаются в объёме, что пациент не получает достаточно кислорода из воздуха. Пожарные, борющиеся с удушливым дымом, спасательные отряды в шахтах, лётчики и альпинисты, поднимающиеся на высоты, где воздух очень разрежен, берут с собой баллоны с чистым кислородом.

Пристли больше полутора столетий назад мечтал об этих современных практических применениях кислорода. Он предвидел также опасность, таящуюся в постоянном вдыхании кислорода вместо обычного воздуха. «Как свеча сгорает гораздо быстрее в этом воздухе, чем в обычном, так и мы можем прожить нашу жизнь слишком быстро. Моралист во всяком случае может утверждать, что мы не заслуживаем воздуха лучше, которым нас снабжает природа».

Пристли продолжал исследовать, насколько хорош открытый им газ. Он нашёл, что этот газ «в пять или шесть раз лучше, чем обычный воздух». Его склонный к воображению ум часто бывал практичным, и Пристли опять стал искать возможностей применения кислорода. Он увидел, что, раздувая огонь кислородом вместо обычного воздуха, можно в сильной степени увеличить жар пламени. Пристли испробовал это в присутствии своего друга Магеллана, наполнив пузырь кислородом и выдувая его через стеклянную трубочку на зажжённый кусочек дерева. Слабый огонёк сразу разгорелся в мощное пламя. Это явилось зародышем современной автогенной сварки, которая поглощает 85 млн. $м^3$ кислорода ежегодно. Пристли даже предположил, что было бы полезно снабдить кислородом из большого резервуара пару раздувальных мехов, но не развил этой мысли, предоставив Роберту Хэру из Филадельфии изобрести кислородно-водородную горелку.

Результаты опытов привели Пристли в восторг. Через несколько недель лорд Шельбури отправился в путешествие на континент. Пристли сопровождал лорда. Во время его пребывания в Париже Магеллан, потомок кругосветного путешественника, представил его всем наиболее выдающимся французским химикам. В лаборатории Лавуазье в присутствии целого ряда учёных Пристли рассказал о результатах некоторых своих наиболее интересных опытов. Лавуазье оказал ему честь своим вниманием, и во время совместного обеда Пристли не скрыл ничего, что ему удалось открыть в последние годы его занятий наукой, «не имея в то время никакого представления о том, куда приведут эти замечательные опыты». Лавуазье прислушивался к каждому слову этого англичанина, и когда Пристли ушёл, чтобы зайти к министру Кадэ, от которого он хотел получить очень чистый образец красного ртутного порошка, Лавуазье отправился в свою лабораторию, разжёг свою печь и повторил все опыты Пристли.

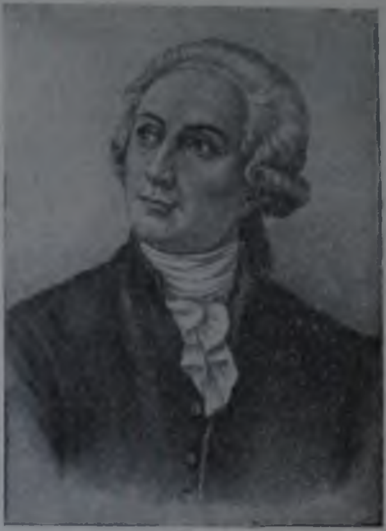
Пристли вернулся в Англию, не подозревая, что выйдет из его встречи с Лавуазье. Пристли знал уже, что воздух не представляет собой простого элементарного вещества. Загадка воздуха была на пороге своего разрешения, когда Пристли родился. В Китае, за много столетий до этого, уже писали об «ине» — активной составной части воздуха, которая соединяется с серой и некоторыми металлами. Леонардо да Винчи, этот многогранный итальянский гений, был убеждён ещё в пятнадцатом столетии, что в воздухе имеются два вещества. Другие учёные тоже смутно догадывались о действительной природе воздуха. Всё же Пристли был первым, кто при помощи химического исследования выделил невидимый кислород воздуха и первый разрешил загадку атмосферы, открыв этот самый распространённый на земле элемент.

(Тигли, Жизнь и достижения великих химиков)

Б. Н. Меншуткин

А. Л. ЛАВУАЗЬЕ

В истории химии известно мало имён, с которыми было бы связано столько важных химических событий, как с именем Антуана Лорана Лавуазье. Сам Лавуазье сделал сравнительно мало открытий, но он обладал весьма редким даром объединять новые факты, открытия других и свои собственные опыты в одно целое. Это был один из самых выдающихся естествоиспытателей, работа которого оказала громадное влияние на развитие не только химии, но и других естественных наук, внеся в них количественные способы исследования и точность. Прекрасный язык, которым излагает Лавуазье свои мысли, простой и образный, где каждое слово вызывает в читателе именно то представление, которое хочет дать автор, является прообразом того, к чему должен стремиться каждый учёный.



А. Л. Лавуазье *(1743—1794).*

А. Л. Лавуазье родился 26 августа 1743 г. Мальчик рос в обществе высоко одарённых людей — родственников и знакомых его отца, занимавших важные служебные посты и привыкших обсуждать в своём кругу разные вопросы науки и общественной жизни. При таких обсуждениях всегда присутствовал и будущий учёный, вскоре обративший на себя внимание своей смышлёностью и развитием. Отец его, выдающийся юрист, хотел дать сыну юридическое образование; но заметив в молодом человеке склонность к математике и естественным наукам, он поместил его в колледж Мазарини, в программу которого входили эти науки.

По окончании курса Лавуазье поступил в высшее юридическое училище, где 6 сентября 1763 г. получил степень бакалавра прав, а через год — лиценциата прав. Но при этом он не прекращал занятий естественными науками, к которым ещё в колледже получил большое пристрастие, продолжая изучать их под руководством самых выдающихся учёных своего времени — математика аббата де-ла-Кайль, ботаника Бернада де Жюссиё, геолога и минералога Геттара, ассистентом которого он сделался с 1763 г. Особенно же привлекали молодого юриста лекции по химии профессора Руэля. Прекрасно обставленные, сопровождавшиеся многочисленными опытами, лекции эти собирали всегда полную аудиторию. Из записей этих лекций, дошедших до нас в нескольких экземплярах, видно, что Руэль стремился дать слушателям полное представление о состоянии тогдашней химии. Подобно другим химикам той эпохи, он был сторонником теории флогистона и объяснял химические явления, исходя из этой теории. В конце концов Лавуазье совершенно забросил юриспруденцию и весь отдался занятиям естествознанием. Исключительная работоспособность и систематичность делали занятия его весьма продуктивными; он пытался всегда доходить до корня вещей и находить объяснение явлений.

Наряду с этим Лавуазье живо интересовался вопросами техническими и социально-экономическими. Первое его научное исследование о составе гипса является в то же время и первым сообщением, сделанным им 27 сентября 1765 г. Парижской Академии наук. В том же году Лавуазье принимает участие в конкурсе, объявленном Академией на изыскание лучшего способа уличного освещения Парижа. За своё произведение Лавуазье получил золотую медаль.

Естественно, что вскоре известный астроном Ляланд предложил избрать Лавуазье, как человека весьма образованного, умного, энергичного и весьма полезного для науки, в члены Академии наук. Избрание состоялось 1 июня 1768 г. Лавуазье впервые присутствовал на заседании Академии, в котором он был намечен членом нескольких комиссий. Деятельность его в этих комиссиях отмечена той же методичностью, которая характеризует всю его работу.

Желая улучшить своё материальное положение, Лавуазье в том же году совершил акт, имевший для него роковые последствия: он сделался одним из откупщиков по внутренним налогам, «генеральным фермером»[1], предварительно очень основательно изучив всё, касающееся откупа. Ему были поручены надсмотр над производством табака, надзор над таможенными операциями и другие дела по косвенным налогам. За это дело Лавуазье взялся со свойственной ему энергией и в 1769—1770 гг. много путешествовал по Франции в интересах откупа.

Эти поездки были использованы им также для исследования питьевых и иных природных вод. Изучая их, Лавуазье заметил, что даже стократная перегонка не позволяет вполне избавить воду от примесей, растворённых в ней. Предполагая, что источником последних являются применяемые для перегонки сосуды, он в продолжение 100 дней нагревал в стеклянном сосуде воду до 90°. Затем путём точного взвешивания он определил потерю веса сосуда и вес выделенных из воды загрязнений: оба веса оказались тождественными. Так Лавуазье опроверг стародавнее мнение, что вода может превращаться в «землю».

Десять лет — с 1771 по 1781 г. — были, пожалуй, самыми плодотворными в научном отношении: в течение их Лавуазье доказал справедливость своей новой теории горения как химического взаимодействия тел с кислородом.

Масса лежащих на Лавуазье обязанностей заставляла его методически точно распределять свой день. Часы с 6 до 9 утра и с 7 до 10 вечера были посвящены химии; остальное время дня Лавуазье отдавал работе в Академии, по откупу в разных комиссиях. Один день в неделю целиком был отведён работе в лаборатории; сюда приходили посетители, принимавшие горячее участие в обсуждении получаемых результатов.

---

[1] Откупщики брали налоги на откуп от государства, т. е. вносили в казну ежегодно определённую сумму денег, а сами собирали с народа налоги; разница шла в их пользу.

Приступая к изучению явлений горения и обжигания металлов, Лавуазье писал: «Я предполагаю повторить всё сделанное предшественниками, принимая всевозможные меры предосторожности, чтобы объединить уже известное о связанном или освобождающемся воздухе с другими фактами и дать новую теорию. Работы упомянутых авторов, если их рассматривать с этой точки зрения, дают мне отдельные звенья цепи... Но надо сделать очень многие опыты, чтобы получить полную последовательность».

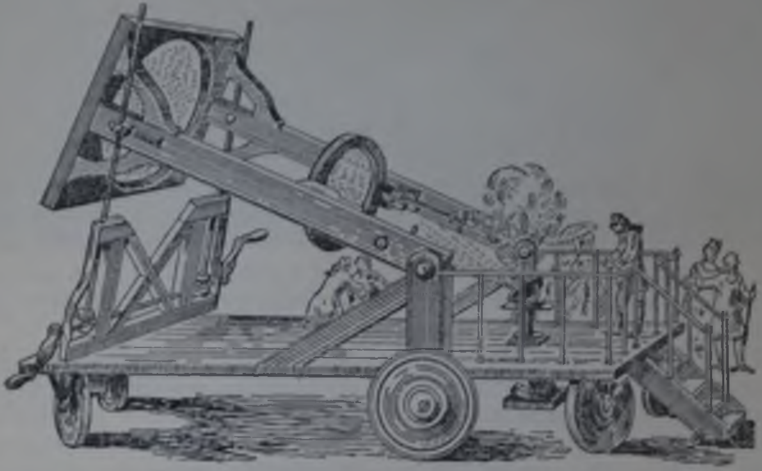


Рис. 61. Большое зажигательное зеркало, применявшееся Лавуазье для химических опытов.

Соответствующие опыты, начатые в октябре 1772 г., были поставлены строго количественно: тщательно взвешивались взятые и полученные вещества.

Одним из первых результатов опытов явилось обнаружение увеличения веса при горении серы, фосфора, угля. Затем также тщательно были изучены явления обжигания металлов.

Приведу здесь некоторые данные об опытах, теперь редко упоминаемых, но в своё время вызвавших величайший интерес среди современников, — об опытах сжигания алмазов.

Давно уже было сделано наблюдение, что при достаточно сильном нагревании на воздухе алмазы исчезают бесследно. Лавуазье на опыте доказал, что решающая роль в этом явлении принадлежит воздуху; алмаз, к которому воздух не имеет доступа, не изменяется при той же температуре. Алмаз, сожжённый под стеклянным колоколом солнечными лучами, собранными в фокусе зажигательного стекла, дал, как и предполагал Лавуазье, газ, бесцветный, образовывавший с известковой водою белый осадок, который вскипал при обливании кислотою; это был углекислый газ. Для подтверждения этого был сожжён в тех же условиях кусочек древесного угля; в результате, как и при сожжении алмаза, получен был углекислый газ. Отсюда А. Лавуазье сделал вывод, что алмаз есть видоизменение угля: оба вещества при горении дают углекислый газ.

Опыты Лавуазье и важнейшие выводы из них описаны им в 1774 г. Мастерское изложение даёт такие убедительные доказательства мнения, что воздух состоит из двух газов, один из которых соединяется с веществами при горении и обжигании, что приходится удивляться, как после этого теория флогистона могла ещё удержать за собою неистовых приверженцев. Дальнейшие выводы из этих опытов приведены в статье 1775 г., в которой Лавуазье специально рассматривает природу образующихся при горении газов, особенно — углекислого газа.

Наряду с этими научными работами Лавуазье самым деятельным образом занимался и практическими вопросами, связанными с производством табака, соли и т. д. В 1775 г. он был назначен «главным распорядителем порохов», т. е. инспектором выделки пороха. Он совершенно преобразовал это дело, сосредоточив его, начиная с производства селитры и кончая выделкою пороха, в руках государства. В результате производительность заводов значительно возросла, а стоимость пороха понизилась.

Лавуазье переселился в Арсенал, где устроил себе лабораторию, в которой работал в течение почти всей своей жизни. Эта лаборатория сделалась центром собраний учёных — и французских, и заграничных, принимавших деятельное участие не только в обсуждениях, но и в самих опытах. Обычно здесь до представления доклада Академии Лавуазье производил необходимые опыты перед друзьями и знакомыми и вместе с ними обсуждал результаты их в свете своей кислородной теории. Неопровержимо доказав справедливость этой теории, он перенёс центр своей научной деятельности в другую область, связанную с прежней: он занялся всесторонним изучением химической стороны дыхания и тех изменений, которые при этом происходят с воздухом. Он доказал присутствие в выдыхаемом воздухе того же углекислого газа, который образуется при горении. То обстоятельство, что водный раствор этого газа обладает кислыми свойствами, в связи со свойствами продуктов горения серы и фосфора, дало повод Лавуазье считать, что все кислородные соединения — кислоты, что он и выразил в названии «кислород», т. е. образователь кислот. Интересно отметить, что название «углекислота», данное тогда углекислому газу, до сих пор применяется многими, хотя

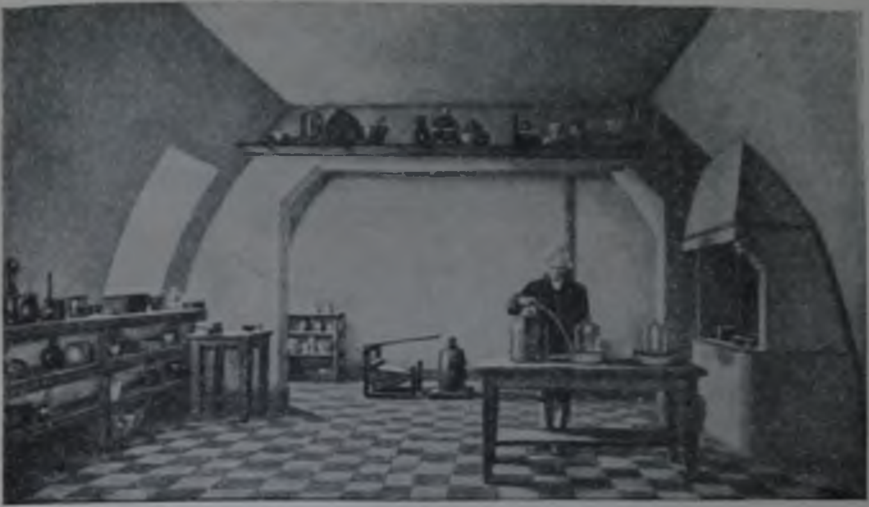


Рис. 62. Лаборатория Лавуазье.

ещё более ста лет тому назад было доказано, что углекислота и углекислый газ — два разных вещества.

В 1785 г. Лавуазье назначается директором Академии наук и тотчас же приступает к её преобразованию. С этого времени он ещё более тесно, чем раньше, связывается с Академией. Темп химических работ Лавуазье в это время замедляется, но тем не менее из-под его пера выходит ряд важных произведений, интересных практических приложений химии. Из последних упомянем лишь работу в комитете по воздухоплаванию, тогда только что зарождавшемуся: первый воздушный шар, наполненный водородом, взлетел в 1783 г.

К 1790 г. было закончено большое исследование о природе теплоты, сделанное Лавуазье совместно с академиком Лапласом. В этой работе они показали, как измерять количество теплоты, как определять теплоёмкость тел; изобретённые ими приборы — калориметры — применяются с этой целью и в настоящее время. От этих работ Лавуазье перешёл к изучению возникновения теплоты в животном организме и установил, что теплота есть результат медленного процесса горения, вполне аналогичного горению угля.

Необходимо сказать ещё о работах Лавуазье по разложению воды, осуществлённых в 1783 г. пропусканием водяного пара над раскалённым железом, и по синтезу её: эти работы окончательно доказали сложный состав воды и природу водорода — образователя её. В связи с добытыми им результатами Лавуазье стал более энергично выступать против теории флогистона, теории, которая, конечно, могла существовать только в химии, не применявшей количественных определений.

Всю свою новую химию в окончательном виде Лавуазье опубликовал в 1787—1789 гг. Первая из этих дат есть время составления новых названий веществ, названий, указывающих состав тел из образующих их химических элементов по данным химического анализа. Эта первая научная химическая номенклатура имела целью отграничить новую химию от старой — флогистонной. Эта же номенклатура проведена и в «Элементарном курсе химии» 1789 г.

Первая часть этого замечательного труда посвящена описанию количественных опытов образования и разложения газов, горения простых веществ, образования кислот и солей. Произведя изучение явления брожения, Лавуазье подчёркивает особенность химического взаимодействия следующими словами: «Ничто не творится ни в искусственных процессах, ни в природных, и можно выставить положение, что во всякой операции имеется одинаковое количество материи до и после операции, что качество и количество начал остались теми же самыми, произошли лишь перемещения, перегруппировки. На этом положении основано всё искусство делать опыты в химии. Необходимо предполагать во всех настоящее (полное) равенство между началами исследуемого тела и получаемого из него анализом». Это химическое равенство — математическое выражение равенства веса тела до и после взаимодействия[1].

Вторая часть курса говорит о простых, неразлагаемых анализом, веществах, которые составляют химические элементы; таковых Лавуазье насчитывает 33 (в том числе свет и теплота, причём он указывает, что усовершенствование методов анализа может повести за собою разложение некоторых элементов). Далее идут образуемые ими взаимные соединения. Наконец, третья часть, посвящённая приборам и операциям в химии, иллюстрирована многочисленными гравюрами, сделанными женою Лавуазье.

Лавуазье принял участие в завершении предпринятой Академией наук разработке системы мер и весов. Эта работа была продолжена в Национальном собрании, которое постановило ввести десятичную систему мер и весов, основанную на длине земного меридиана. Для этого был образован ряд комитетов и комиссий, во главе которых стояли Лавуазье, Кондорсе, Лаплас. Они выполнили порученную им работу, результатом которой и явилась метрическая система, применяемая теперь всюду. Это одна из последних научных работ Лавуазье.

Откуп и откупщики давно уже составляли предмет справедливой ненависти народа. Национальное собрание в марте 1791 г. отменило откуп и предложило к 1 января 1794 г. произвести ликвидацию его. С этого времени Лавуазье оставил работу в этом учреждении. Движение против откупщиков продолжало развиваться, и в 1793 г. Конвент постановил арестовать откупщиков и ускорить ликвидацию откупа. Вместе с другими 24 ноября был арестован и Лавуазье.

---

[1] Закон сохранения веса веществ при химических реакциях впервые был точно сформулирован ещё в 1748 году М. В. Ломоносовым, т. е. за 41 год до формулировки этого закона, сделанной Лавуазье. *(Состав.)*

После разбирательства дела в трибунале 8 мая 1794 г., все откупщики были приговорены к смертной казни, и в тот же день вместе с другими Лавуазье был гильотинирован.

(«Вестник знания», № 3, 1936)

А. Л. Лавуазье

АНАЛИЗ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Химия даёт в общем два пути для определения природы составных частей какого-нибудь тела: синтез и разложение. Когда, например, смешивают вместе воду и винный спирт, или алкоголь, и в результате этого смешения получают известную жидкость, носящую в продаже название водки, то имеют право заключить, что водка представляет собою соединение спирта и воды; но к тому же самому заключению можно прийти и путём разложения, — и вообще в химии нельзя считать себя вполне удовлетворённым, пока не удастся сочетать оба эти рода доказательств.

Это преимущество имеется при анализе атмосферного воздуха — его можно разложить и вновь получить, и я ограничусь здесь сообщением лишь о наиболее убедительных опытах, которые были произведены в этом направлении. Среди них нет почти ни одного, который не был бы мною самим произведён, или потому, что я их первый поставил, или потому, что я повторил их под новым углом зрения, — с целью произвести анализ атмосферного воздуха.

Я взял реторту объёмом приблизительно в 36 куб. дюймов[1], с очень длинной шейкой, имевшей 6—7 линий[2] ширины внутреннего просвета. Я изогнул её так, чтобы, поместив на печку, можно было конец её шейки подвести под колокол, помещённый над ртутной ванной. В эту реторту я ввёл 4 унции[3] очень чистой ртути, затем, путём всасывания посредством сифона, который я ввёл под колокол, я поднял ртуть до определённого уровня и тщательно отметил этот уровень полоской приклеенной бумаги, точно наблюдая при этом показания барометра и термометра.

Закончив, таким образом, все приготовления, я зажёг огонь в печке и поддерживал его почти без перерыва в течение 12 дней, причём ртуть нагревалась до температуры, необходимой для её кипения.

---

[1] 1 куб. дюйм — 16,4 $см^3$.

[2] 1 линия — 2,5 *мм*.

[3] 1 унция — 28,35 *г*.

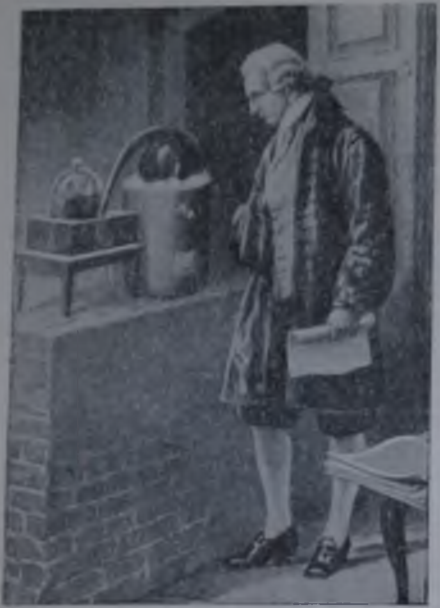


Рис. 63. Лавуазье проводит свой 12-дневный опыт.

В течение всего первого дня не произошло ничего примечательного: ртуть, хотя и не кипевшая, находилась в состоянии непрерывного испарения и покрывала внутренние стенки реторты капельками, сначала очень мелкими, но постепенно увеличивающимися, и, при достижении известного объёма, падавшими от собственной тяжести на дно реторты и соединявшимися с остальной ртутью. На второй день я начал замечать плавающие на поверхности ртути небольшие красные частички, которые в течение четырёх или пяти дней увеличивались в количестве и объёме, после чего перестали увеличиваться и оставались в абсолютно неизменном виде. По прошествии 12 дней, видя, что окаливание ртути нисколько больше не прогрессирует, я потушил огонь и дал остыть прибору. Объём воздуха, содержавшегося как в реторте, так и в её шейке и в свободной части колокола, приведённый к 28 дюймам[4] давления и 10 градусам температуры, был до опыта равен приблизительно 50 куб. дюймам. По окончании операции тот же объём, при том же давлении и той же температуре, оказался равным всего лишь 42—43 дюймам; следовательно, произошло уменьшение приблизительно на одну шестую. С другой стороны, тщательно собрав образовавшиеся на поверхности красные частицы и отделив их, насколько было возможно, от жидкой ртути, в которой они плавали, я нашёл их вес равным 45 гранам[5].

Мне пришлось повторить несколько раз это прокаливание ртути в замкнутых сосудах, потому что очень трудно в одном и том же опыте собрать и сохранить и воздух, в котором производился опыт, и красные частицы образовавшейся ртутной окалины. Мне придётся часто соединять таким образом в одном описании результаты двух или трёх однородных опытов.

---

[4] 1 дюйм — 2,54 *см*.

[5] 1 гран — 0,065 *г*.

Воздух, оставшийся после этой операции и уменьшавшийся вследствие прокаливания в нём ртути до пяти шестых своего объёма, не был годен больше ни для дыхания, ни для горения; животные, вводимые в него, умирали в короткое время, горящие же предметы потухали в одно мгновение, как если бы их погружали в воду. С другой стороны, я взял 45 гранов образовавшегося во время опыта красного вещества и поместил их в маленькую стеклянную реторту, к которой был присоединён прибор, приспособленный для приёма могущих выделиться жидких и воздухообразных продуктов; зажегши огонь в печке, я заметил, что по мере того, как красное вещество нагревалось, его цвет становился всё более интенсивным. Когда затем реторта начала накаляться, красное вещество начало мало-помалу уменьшаться в объёме и через несколько минут оно совершенно исчезло, в то же время в небольшом приёмнике собралось 41$^1/_2$ гран жидкой ртути, а под колокол прошло 7—8 куб. дюймов упругой жидкости[1], гораздо более способной поддерживать горение и дыхание животных, чем атмосферный воздух.

Когда, переведя некоторое количество этого воздуха в стеклянный цилиндр диаметром в один дюйм, я опустил туда свечу, она загорелась ослепительным светом; уголь, вместо того чтобы спокойно тлеть, как в обыкновенном воздухе, горел сильным пламенем и с некоторым треском, подобно фосфору, притом с такой яркостью, которую глаза с трудом переносили. Этот воздух, который был открыт почти в одно время Пристли, Шееле и мною, был назван: первым «дефлогистированным» воздухом, вторым — огненным воздухом. Я ему дал сначала название в высшей степени легко вдыхаемого или весьма удобовдыхаемого воздуха; впоследствии это название было заменено названием «жизненный», или «живительный» воздух. Мы увидим сейчас, что надо понимать под этими названиями.

Вдумываясь в обстоятельства, сопровождавшие этот опыт, можно видеть, что ртуть при прокаливании поглощает здоровую и годную для дыхания часть воздуха, или, выражаясь более точно, основное начало этой годной для дыхания части воздуха; что оставшаяся часть воздуха представляет собой какое-то вредное выделение, неспособное поддерживать горение и дыхание; следовательно, атмосферный воздух состоит из двух упругих материй различного и, так сказать, взаимно противоположного характера.

Доказательством этой весьма важной истины является то, что если соединить опять обе упругие материи, полученные, как указано выше, отдельно одна от другой, т. е. 42 куб. дюйма вредного, негодного для дыхания воздуха, и 8 куб. дюймов воздуха, поддерживающего дыхание, то получается воздух, во всём схо-

---

[1] Во времена Лавуазье упругими жидкостями, или материями, называли газы. *(Состав.)*

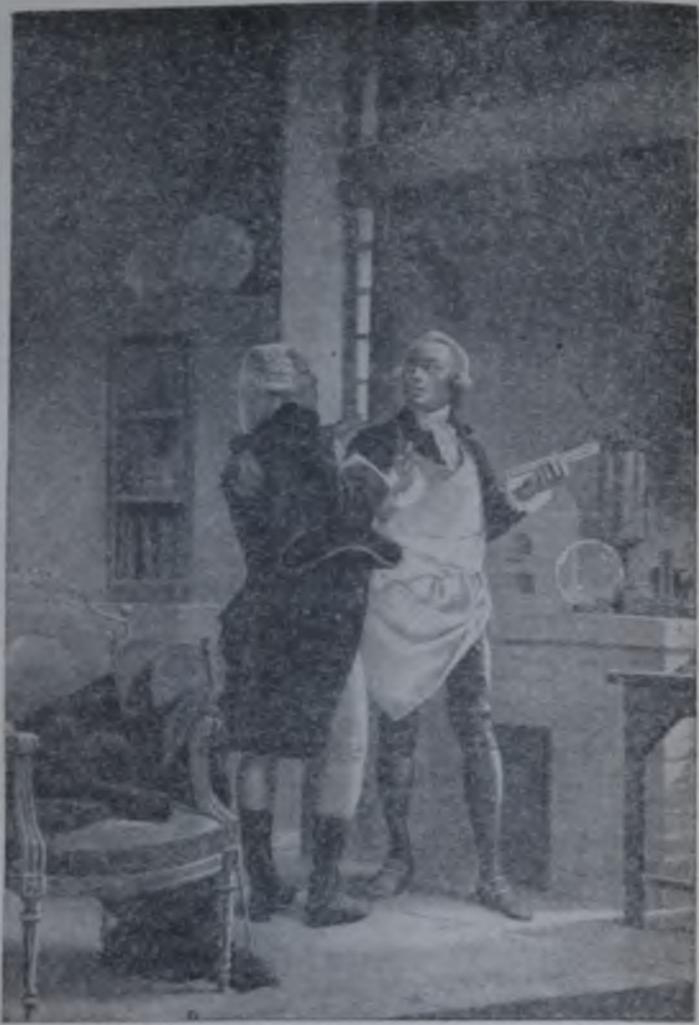


Рис. 64. Бертолле посещает Лавуазье в его лаборатории.

жий с атмосферным, пригодный почти в такой же степени для горения, для кальцинации и для дыхания животных.

Берут кусок очень тонкой железной проволоки, свёрнутой в спираль; втыкают один из её концов в пробку, предназначенную для закупорки бутылки. К другому концу этой проволоки прикрепляют небольшой кусочек трута. Когда всё приготовлено, как указано, наполняют бутылку воздухом, лишённым своей негодной для дыхания части. Зажигают трут, затем быстро вводят его вместе с железной проволокой в бутыль и закупоривают её.

Как только трут погрузится в «живительный» воздух, он начинает гореть с ослепительным блеском; от него загорается железо, которое само горит, разбрасывая блестящие искры, падающие на дно бутылки в виде круглых шариков; последние, охлаждаясь, чернеют, сохраняя остаток металлического блеска. Сожжённое таким образом железо более ломко и хрупко, чем стекло; оно легко превращается в порошок и хотя притягивается ещё магнитом, однако меньше, чем до горения.

(Из «Записок Французской Академии наук», 1775 г.)

А. Л. Лавуазье

ОПЫТЫ НАД ДЫХАНИЕМ ЖИВОТНЫХ

Из всех явлений животной жизни нет более поразительного и более заслуживающего внимания физиков и физиологов, чем явления, сопровождающие дыхание. Если, с одной стороны, мы мало знаем о сущности этого исключительного процесса, зато с другой — нам известно, что он имеет настолько важное значение в жизни, что не может прекратиться хотя бы на малейшее время, не подвергая животное опасности немедленной смерти.

Воздух, как всем известно, необходим для дыхания; но в то же время не все виды воздуха, или, шире, не все виды упругих материй[1] способны его поддерживать; есть много видов воздуха, которыми животные не могут дышать, чтоб не умереть так же быстро, как если бы они дышали никаким.

Разложение воздуха и обратный его синтез — вот пример наиболее полного доказательства, какого можно только достичь в химии, — и из него вытекает с очевидностью: 1) что $^5/_6$ воздуха, которым мы дышим, как я уже сообщил в предыдущем своём мемуаре, находится в состоянии мефитическом, т. е. неспособном поддерживать дыхание и горение тел; 2) что остаток, т. е. всего $^1/_6$ объёма атмосферного воздуха, годен для дыхания; 3) что при прокаливании ртути это металлическое вещество поглощает всю полезную часть воздуха, оставляя лишь вредную; 4) что, соединяя вновь эти обе разделённые таким образом части воздуха, годную для дыхания и мефитическую, получают опять воздух, подобный атмосферному.

Эти элементарные положения, касающиеся прокаливания металлов, приводят нас к простым следствиям относительно дыхания животных, и так как воздух, служивший известное время для поддерживания этой жизненной функции, имеет большое сходство с воздухом, в котором прокаливались металлы, то данные, касающиеся одного, естественно приложимы и к другому.

---

[1] Упругими материями в XVIII в. называли газы. *(Состав.).*

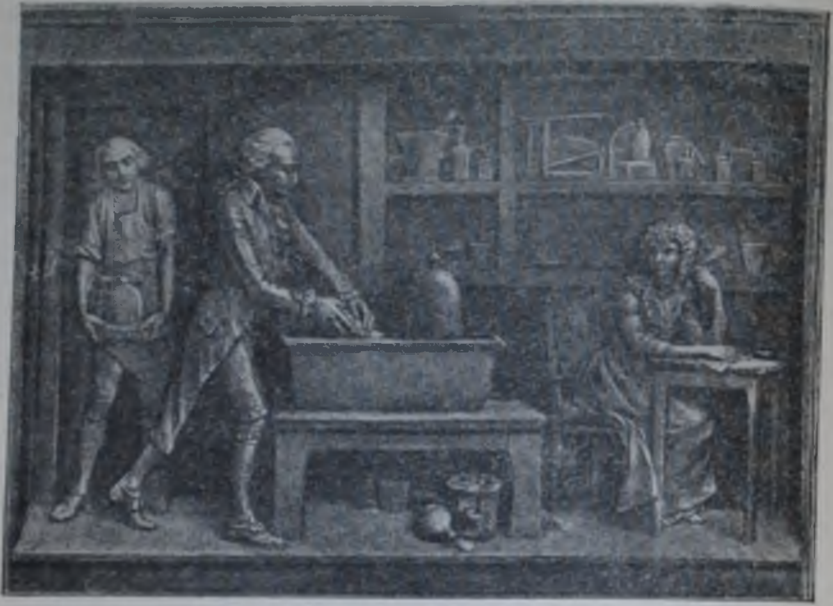


Рис. 65. Эксперименты Лавуазье с применением пневматической ванны. Направо жена Лавуазье Мария-Анна записывает опыты *(с барельефа на пьедестале памятника Лавуазье в Париже).*

Я впустил живого воробья под стеклянный колокол, наполненный обыкновенным воздухом и погружённый в полоскательную чашку с налитой в неё ртутью; объём свободной части колокола равнялся 31 куб. дюйму; в первые минуты птичка, казалось, ничуть не страдала и только немножко присмирела; спустя четверть часа она начала волноваться, дыхание её стало затруднённым и прерывистым, и с этого момента явления стали развиваться ускоренным темпом; в конце концов, по прошествии 55 минут, она умерла в конвульсиях. Несмотря на то, что теплота животного, естественно, расширила в течение первых минут воздух, находившийся под колоколом, объём его заметно уменьшился, причём уменьшение это составляло к концу первой четверти часа около $^1/_{40}$; затем объём по истечении получаса ещё немного уменьшился, и, когда после смерти животного заключённый под колокол воздух принял температуру среды, в которой производился опыт, уменьшение оказалось равным не более $^1/_{60}$.

Этот воздух, которым, следовательно, дышало животное, стал совершенно отличным от атмосферного; с известковой водой он давал муть; огонь гасил; другая птичка, которую я впустил туда, прожила не больше нескольких мгновений; вообще он был крайне удушлив и в этом отношении казался весьма схожим с воздухом, оставшимся после прокаливания ртути.

Однако более глубокое исследование заставило меня заметить два весьма примечательных различия между обоими этими видами воздуха, — я имею в виду воздух, который служил для прокаливания ртути, и воздух, которым дышал воробей: 1) уменьшение объёма было значительно меньше у второго, чем у первого; 2) воздух, оставшийся после дыхания, давал осадок с известковой водой, между тем как воздух, оставшийся после прокаливания, не вызывал в ней никаких изменений.

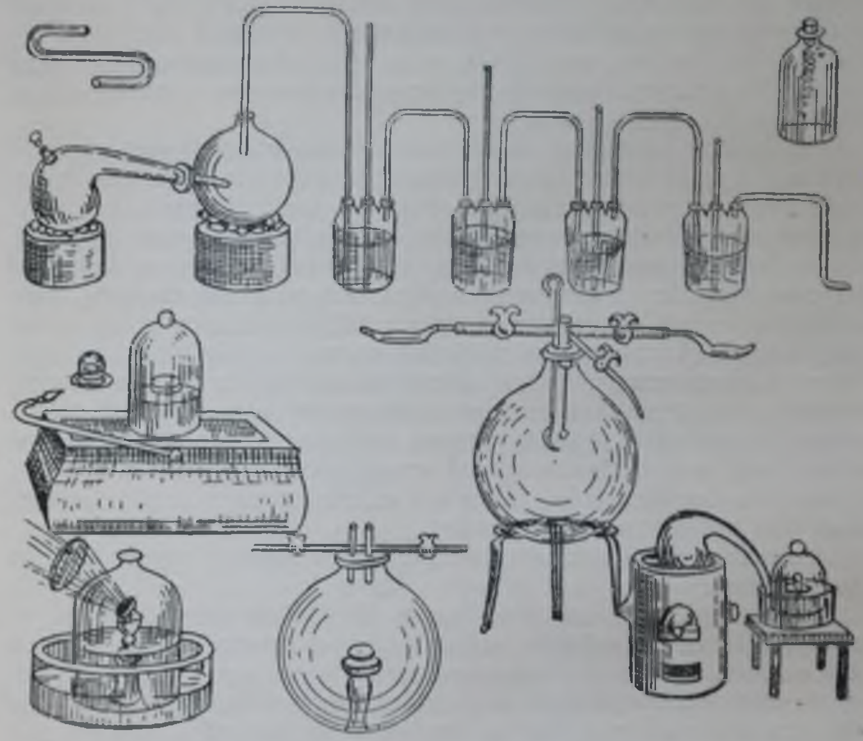


Рис. 66. Приборы Лавуазье.

С одной стороны, эта разница между обоими видами воздуха, с другой — большое сходство, которое они представляли во многих отношениях, заставили меня предположить, что в дыхании взаимно сочетались две причины, из которых я, повидимому, знал пока только одну, и, чтобы выяснить свои сомнения в этом отношении, я проделал следующий опыт.

Я пропустил под стеклянный колокол, наполненный ртутью и опущенный в ртуть, 12 дюймов испорченного дыханием воздуха и ввёл туда же небольшое количество едкой щёлочи; я мог бы воспользоваться для этой же цели известковой водой, но количество её, которое пришлось бы употребить, было бы слишком велико и могло бы повредить успешности опыта.

Действие едкой щёлочи должно было состоять в том, чтобы вызвать сокращение объёма данного воздуха приблизительно на $^{1}/_{6}$; одновременно щёлочь утратила часть своей едкости; она приобрела способность вскипать с кислотами и кристаллизовалась под колоколом в виде весьма правильных ромбов — свойства, которые, как известно, не могут быть ей сообщены иначе, как путём соединения с определённым видом воздуха или газа, известным под названием «связанного» воздуха (air fixe)[1], который я буду впредь называть воздухообразной меловой кислотой. Из сказанного следует, что воздух, испорченный дыханием, содержит около $^{1}/_{6}$ воздухообразной кислоты, совершенно сходной с той, которую получают из мела.

Но воздух, который оставался после прокаливания ртути, как видно было выше, представляет собой не что иное, как негодный для дыхания остаток атмосферного воздуха, часть которого, годная для дыхания, соединилась со ртутью во время прокаливания; воздух же, служивший для дыхания, будучи освобождён от содержащейся в нём воздухообразной меловой кислоты, тоже является не чем иным, как остатком обыкновенного воздуха, лишённого своей годной для дыхания части; и действительно, прибавив к этому воздуху, в количестве около $^{1}/_{4}$ его объёма, воздух, вполне пригодный для дыхания, полученный из ртутной земли, я восстановил его первоначальное состояние и сделал столь же способным, как и обыкновенный воздух, поддерживать и дыхание и горение тем же путём, как я это сделал с воздухом, испорченным при прокаливании металлов...

Опираясь только на факты, можно во всяком случае считать доказанным:

1) что при дыхании происходит взаимодействие только с чистой, наиболее годной для дыхания частью атмосферного воздуха; что остаток, т. е. мефитическая часть, представляет лишь инертную среду, которая входит в лёгкие и выходит из них почти такою же, как и вошла, т. е. без изменений и нарушений;

2) что окаливание металлов в определённом количестве атмосферного воздуха может, как я уже неоднократно говорил, происходить лишь до тех пор, пока не истощится и не соединится с металлом вся заключающаяся в атмосферном воздухе часть настоящего воздуха, наиболее годного для дыхания;

3) что точно так же, если заключить животное в некоторое данное количество воздуха, оно там погибнет после поглощения им или превращения в воздухообразную меловую кислоту большей части годного для дыхания воздуха и после перехода последнего в мефитическое состояние;

4) что тот вид испорченного воздуха, который остаётся после

---

[1] Речь идёт об углекислом газе. *(Состав.)*

прокаливания металлов, ничем не отличается, согласно всем опытам, которые я проделал, от того, который остаётся после дыхания животных, если только последний освобождён посредством извести или едкой щёлочи от своей связывающейся (fixable) части, т. е. от содержащейся в нём воздухообразной меловой кислоты.

(Из «Записок Французской Академии наук», 1777 г.)

М. Фарадей

КАК ГОРИТ СВЕЧА

В настоящих чтениях я предполагаю изложить вам историю свечи с химической точки зрения.

Я очень охотно берусь за этот вопрос, так как он очень интересен, и чрезвычайно разнообразны пути, открываемые им для изучения природы. Нет ни одного закона, управляющего мировыми явлениями, который не проявился бы в истории свечи и которого не пришлось бы коснуться. Нет лучших дверей, более широко открытых для изучения природы, чем рассмотрение физических явлений, разыгрывающихся при горении свечи.

Начну с пламени свечи. Зажжём одну или две свечи; вы замечаете, как велика разница между лампой и свечой. В лампе имеется резервуар с маслом, в которое погружён фитиль, сделанный из хлопчатой бумаги. Конец фитиля зажигают; когда пламя доходит до масла, оно там гаснет, продолжая гореть в верхней части фитиля. Вы, без сомнения, спросите, как это может быть, чтобы масло, не горящее само по себе, подымалось по фитилю и стало бы гореть на конце его? Мы это исследуем! При горении свечи происходят ещё более диковинные вещи. Ведь мы имеем твёрдое вещество, не нуждающееся в резервуаре, — как может это вещество пробраться туда, где мы видим пламя, не будучи жидким? Или же, если оно превращается в жидкость, как может оно сохраняться, не разливаясь? Преудивительная вещь эта свеча!

В нашей комнате чувствуется сильное течение воздуха; для некоторых наших опытов это может оказаться вредным. Чтобы внести правильность в наше исследование и упростить его, я получу совершенно спокойное пламя; ибо, как можно исследовать какое-нибудь явление, если оно сопровождается всякими посторонними обстоятельствами?

Для нашей цели мы можем кой-чему поучиться у торговок, продающих свой товар вечером на улицах. Я часто наблюдал их приспособление. Они окружают свечу цилиндрическим стеклом, укреплённым на своего рода галерее, охватывающей свечу: по желанию стекло с оправой можно подымать и опускать. При

М. Фарадей *(1791—1867)*.

помощи такого стекла можно получить совершенно спокойное пламя, которое легко исследовать во всех подробностях.

Прежде всего обратим внимание на то, как верхний слой свечи непосредственно под пламенем образует углубление, вроде красивой чашечки. Воздух, притекающий к свече, подымается кверху благодаря току, вызванному теплотой пламени; вследствие движения воздуха внешние слои свечи охлаждаются. Середина тает сильнее, чем края чашечки, так как по середине сильнее всего действие пламени, стремящегося опуститься вниз по фитилю.

Пока воздух равномерно притекает со всех сторон, до тех пор края чашки остаются совершенно ровными, и расплавленная масса свечи, плавающая по чашечке, имеет горизонтальную поверхность. Стоит мне лишь подуть сбоку на свечу, как края чашки сейчас же скашиваются, и расплавленная масса свечи вытекает, повинуясь тем же законам, которые управляют движением миров. Вы видите, таким образом, что чашка в верхней части свечи образуется благодаря равномерно восходящему току воздуха, охлаждающего со всех сторон наружный слой свечи. Только те вещества пригодны для изготовления свечей, которые при горении способны образовать такую чашечку.

Мы можем сделать несколько наблюдений над влиянием восходящего тока воздуха, которые не мешает запомнить. Здесь с одной стороны свечи образовался натёк, так что свеча в этом месте стала толще. В то время как свеча продолжает спокойно сгорать, утолщение остаётся на своём месте и образует на краю свечи выдающийся столбик; так как он возвышается над остальной массой воска и удалён от середины свечи, то воздух легче охлаждает его и даёт ему возможность противостоять действию тепла, несмотря на близость пламени. Таким образом, как и во многих других случаях, ошибка или неправильный приём обогащают наше знание: не будь этих ошибок, мы, может быть, с трудом получили бы эти сведения. Невольно в этих случаях мы делаемся исследователями природы; я надеюсь, что вы, встретив новое явление, не забудете спросить себя: «Где причина явления? Как всё это происходит?» и с течением времени непременно найдёте ответ на ваши вопросы.

Другой вопрос, на который мы должны ответить, — это следующий: как поступает горючий материал из чашечки по светильне к тому месту, где происходит горение? Вы знаете, что у восковых, стеариновых свечей пламя не опускается по горящему фитилю к горючему материалу, расплавляя его целиком, но остаётся на своём месте, на некотором расстоянии от расплавленной массы и не нарушая целости краёв чашечки. Я не могу себе представить лучшего приспособления: всякая часть свечи помогает остальным в достижении наилучшего действия. Разве не чудесно видеть, как постепенно сгорает это горючее вещество, как пламя не трогает его, несмотря на то, что пламя это могло бы целиком разрушить воск, если бы дать ему слишком приблизиться к нему?

Каким образом пламя питается горючим материалом? При помощи капиллярного притяжения. «Капиллярное притяжение?» — спрашиваете вы. «Волосность?» Ну, название большого значения не имеет — его придумали, когда не было правильного представления о силе, которая обозначалась этим названием. Действие этого так называемого капиллярного притяжения оказывается в том, что горючий материал проводится к месту сгорания и там откладывается, и притом не как-нибудь, а как раз в середине очага, в котором происходит процесс горения.

Единственная причина того, что свеча не прогорает вдоль фитиля, состоит в том, что расплавленное сало тушит пламя. Вы знаете, что свеча сейчас же гаснет, если её перевернуть так, чтобы расплавленная масса свечи стекала по фитилю до его конца. Это происходит оттого, что пламя не успевает нагреть достаточно сильно притекающий в большом количестве расплавленный горючий материал. Когда же пламя находится в обыкновенном своём положении, т. е. над расплавленной массой, то новые количества свежей массы расплавляются, постепенно поднимаются по светильне, и пламя может действовать со всей своей силой.

Теперь мы подходим к очень важному явлению, требующему подробного изучения; иначе вы не будете в состоянии вполне разобраться в том, что представляет собой пламя свечи. Я имею в виду газообразное состояние горючего материала. Чтобы вы хорошенько поняли меня, я покажу вам красивый, хотя и простой опыт. Когда вы тушите свечу, то вы замечаете, как подымается дымок от фитиля; вы, наверное, знакомы с неприятным запахом этих газов, испускаемых потушенной свечой. Если погасить свечу очень осторожно, то легко можно обнаружить газы, в которые превратилось твёрдое вещество свечи. Я потушу теперь свечу так, чтобы не вызвать движения воздуха; для этого мне стоит лишь некоторое время подышать на свечу. Если я теперь поднесу горящую лучину на расстоянии 5—8 *см* от конца светильни, то вы увидите, как пламя по струе паров, идущих от свечи, перескакивает на фитиль. Всё это надо производить достаточно быстро, в противном случае газы успеют остыть и сгуститься, или же струя горючих паров успеет рассеяться в воздухе.

Теперь мы рассмотрим очертание и строение пламени. Для нас важно ознакомиться с состоянием пламени, в котором оно находится на конце светильни, где пламя обладает таким блеском и красотой, каких мы нигде в других явлениях не можем наблюдать. Вы знакомы с прекрасным блеском золота и серебра, а ещё более замечательным блеском и игрой драгоценных камней, вроде рубина и алмаза, но ничто не может сравниться с красотой пламени. Какой алмаз светит подобно пламени? В ночное время он черпает свой блеск именно от пламени, освещающего его. Пламя освещает мрак — свет алмаза ничто; он появляется лишь, когда луч света пламени падает на алмаз. Свеча светит сама.

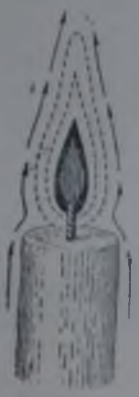


Рис. 67. Схема строения пламени свечи.

Изучим подробнее строение пламени в том виде, в каком оно находится у нас внутри нашего стекла. Пламя это постоянно и однородно; оно имеет в общем ту форму, как изображена на нашем рисунке, но, смотря по состоянию воздуха и по величине свечи, форма эта может значительно видоизменяться. Оно образует конус, округлённый в своей нижней части; верхняя часть конуса светлее нижней. Внизу, у светильни, легко обнаружить более тёмную часть, внутри которой сгорание не столь совершенно, как в верхних частях пламени. У меня здесь имеется рисунок пламени, сделанный много лет тому назад Гукером, когда он производил свои исследования. На рисунке изображено пламя лампы, но его можно применить и к пламени свечи; резервуар для масла соответствует чашечке свечи, масло отвечает расплавленной свечной массе, а фитиль имеется в обоих случаях. Вокруг фитиля Гукер изобразил пламя, а вокруг последнего он совершенно правильно изобразил ещё один невидимый слой, о котором вы, вероятно, ничего не знаете, если вообще незнакомы каким-либо образом с этим явлением. Он изобразил окружающий воздух, имеющий существенное значение для пламени и всегда находящийся вблизи него. Далее, он изобразил ток воздуха, вытягивающий пламя кверху; пламя, которое вы здесь видите, действительно вытягивается током воздуха и притом на довольно значительную высоту, совершенно так же, как это изобразил Гукер на своём рисунке. Легче всего убедиться в этом, выставив горящую свечу на солнце и рассматривая её тень, полученную на листке белой бумаги. Не правда ли, удивительно: пламя, обладающее достаточным светом, чтобы образовать тень других предметов, само даёт тень? При этом ясно видно, как что-то такое, не принадлежащее самому пламени, обтекает его, поднимается кверху и увлекает за собой пламя.

Теперь обращу ваше внимание на другие факты. Различные виды пламени, которые вы имеете здесь перед собой, значительно разнятся друг от друга по своей форме; это зависит от различного распределения воздушных токов, охватывающих их. С другой стороны, мы можем получить такое пламя, которое по своей неподвижности напоминает твёрдое тело, так что его легко сфотографировать; такие фотографии необходимы для более подробного изучения природы пламени. Но это еще не всё, что я хочу сообщить вам.

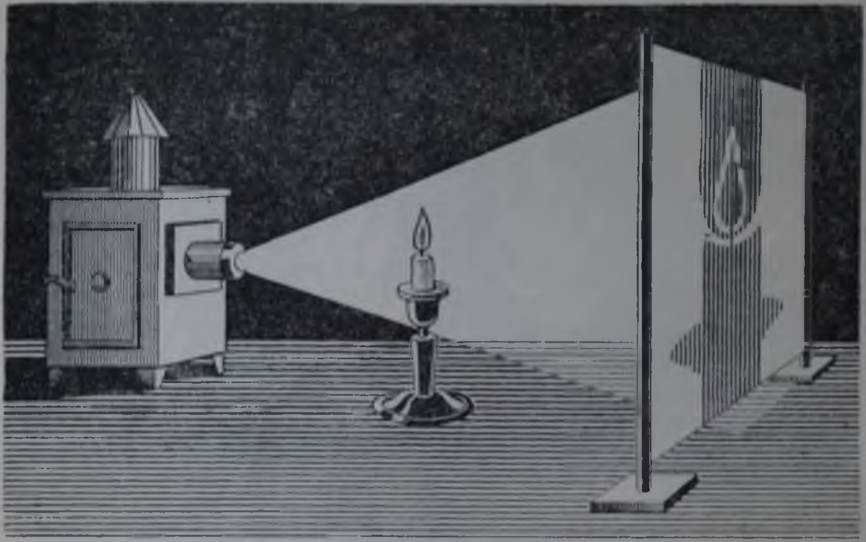


Рис. 68. Тень пламени свечи.

Если я возьму достаточно длинное пламя, то оно не станет сохранять некоторую устойчивую равномерную форму, но с удивительной силой будет ветвиться. Чтобы показать это явление, я вместо воска или сала свечи возьму новый горючий материал. В качестве светильни я беру большой ком ваты. Я погрузил его в спирт и зажигаю — чем отличается он от обыкновенной свечи? Той силой, с которой происходит горение; никогда у свечи мы не замечаем такого сильного и подвижного пламени. Вы видите, как великолепные языки пламени непрерывно вздымаются кверху! Направление пламени осталось тем же: оно стремится снизу вверх; но совершенно ново, по сравнению со свечой, это удивительное разделение пламени на отдельные ветки и выступы, на эти лижущие языки. Отчего это происходит? Я объясню это вам, и, когда вы хорошенько разберёте это явление, вам будет легко следовать за моим дальнейшим изложением. Я уверен, что многие из вас уже сами проделывали опыт, который я вам сейчас покажу. Ведь многим из вас известна детская игра, состоящая в том, что в тёмной комнате льют спирт в чашку с изюмом или сливами и затем зажигают его. Эта игра как нельзя лучше воспроизводит рассматриваемое нами явление. Вот у меня чашка; чтобы опыт хорошо удался, нужно предварительно нагреть чашку; недурно нагреть и изюм или сливы.

В свече мы наблюдали образование чашечки с расплавленным горючим материалом; здесь мы взяли чашку со спиртом, а роль светильни свечи играет изюм. Я зажигаю спирт, и сразу вырываются чудесные огненные языки; воздух через края чашки переливается в неё и вытесняет эти языки. Как так? Да так, что при сильном притоке воздуха, благодаря неравномерному горению, пламя не может ровной струёй подниматься кверху. Воздух так неравномерно притекает в чашку, что пламя, которое при иных условиях могло бы представлять нечто цельное, в данном случае разрывается на множество отдельных частей, существующих независимо друг от друга. Я почти хотел бы сказать, что мы видим здесь множество отдельных свечей. Но вы не должны думать, будто те отдельные языки, какие здесь одновременно видны, в совокупности своей дали бы изображение пламени. Никогда пламя, какое мы получили при горении нашей ваты, не имеет той формы, какую мы видели. Это был ряд очертаний, следовавших так быстро одно за другим, что глаз не мог их рассмотреть в отдельности, и потому получилось впечатление от всех одновременно. Я с намерением коснулся пламени такого общего вида, и на рисунке вы можете рассмотреть отдельные

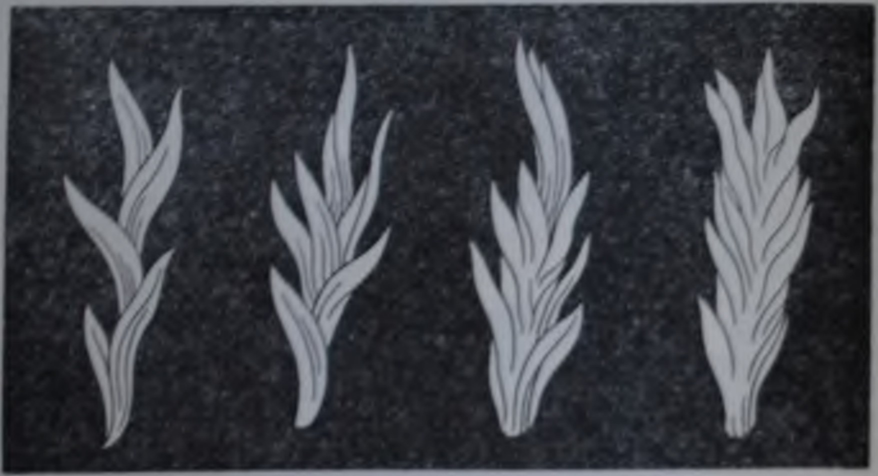


Рис. 69. Ветвление пламени.

группы, из которых оно состоит; они не все одновременно существуют, но при их быстрой смене у нас складывается представление об их одновременном существовании.

(«История свечи»)

М. М. Усанович

ГОРЕНИЕ В ЧИСТОМ КИСЛОРОДЕ

Мы не можем обойтись без кислорода. Когда говорят, что человеку что-нибудь необходимо, как воздух, правильнее было бы, пожалуй, сказать: «как кислород».

Однако, если бы кислород в атмосфере не был разбавлен, если бы воздух состоял из одного только чистого кислорода, мы испытывали бы очень большие затруднения, и многое в нашей жизни пришлось бы сильно изменить.

При той силе и скорости горения, с которой все горючие вещества горят в кислороде, мы не могли бы пользоваться нашим обычным топливом в таких печах, как теперь. Уголь и дрова сгорали бы с такой быстротой, как бумага или солома. Кроме того, железные части наших топок в жару кислородного пламени плавились бы и сгорали; железные котлы, локомобили и паровозы не могли бы иметь никакого применения; в домашнем быту также нельзя было бы пользоваться железной посудой (например, сковородами), так как она сгорела бы на огне. Склады топлива пришлось бы охранять от огня с такой же заботливостью, как теперь охраняются пороховые склады.

Вообще говоря, если бы атмосфера состояла из чистого кислорода, нам было бы очень трудно уберечься от пожаров и ещё труднее было бы их тушить.

Жители одного города в Англии имели возможность своими глазами увидеть, что может сделать кислород, если его выпустить в большом количестве в одном месте. Это произошло при несчастном случае на одном химическом заводе в 1899 г. На заводе этом вырабатывалась бертолетова соль. Случайно обронённая искра попала на деревянный чан, в котором находилось несколько тонн бертолетовой соли; сухое да ещё к тому же пропитанное солью дерево моментально загорелось; бертолетова соль от нагревания стала выделять кислород, и огонь, необыкновенная сила которого поддерживалась кислородом, через несколько минут охватил всё здание. Рядом с тем зданием, где начался пожар, был расположен склад, в котором находилось около 150 тонн бертолетовой соли, упакованной в бочки. От действия жара всё это громадное количество бертолетовой соли стало выделять столько кислорода, что весь завод очутился в атмосфере, состоящей не из воздуха, а из кислорода. Горящие здания стали пылать так, как пылает уголь или лучинка в кислороде. Пламя с невероятной быстротой охватило весь завод. Бочки с бертолетовой солью взорвались, и сила взрыва была так велика, что завод был разрушен до основания, земля вокруг затряслась, как при сильном землетрясении, поезда подпрыгнули на рельсах, на несколько километров в окружности были выбиты все стёкла. От завода ничего не осталось, даже тяжёлые железные лебёдки, служившие для поднятия тяжестей, сгорели, как бумага. Это происшествие ярко показывает, что было бы, если бы атмосфера состояла из чистого кислорода.

(*«Воздух»*, 1927 г.)

Дж. Дьюар

ДЬЮАРОВ СОСУД

Сжижение воздуха в атмосфере обыкновенной лаборатории есть такой же подвиг, как получение жидкой воды из пара, нагретого до температуры белого каления, при условии, что служащие для этого приборы и все окружающие предметы нагреты до той же высокой температуры. Главная трудность — не столько в том, чтобы произвести сильный холод, сколько в том, чтобы раз полученный холод сохранить в перегретой среде. Обыкновенные непроводники неприменимы вследствие их громоздкости и непрозрачности, а при опытах с жидким воздухом иногда суще-

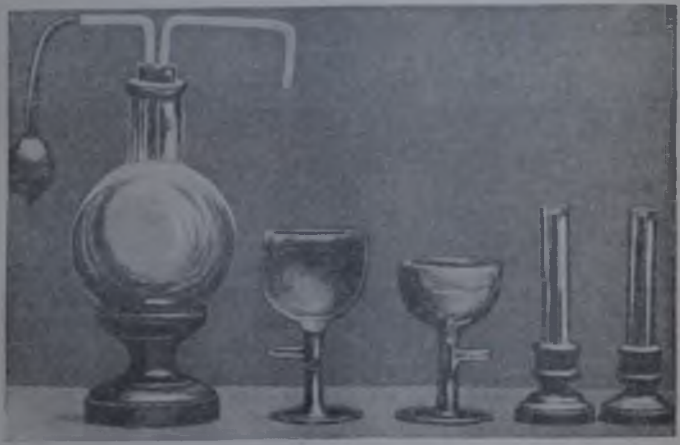


Рис. 70. Сосуды Дьюара для хранения жидких газов.

ственно важно, чтобы продукты сжижения были видимы и чтобы с ними легко было обращаться.

Размышляя над этими затруднениями в 1892 г., я вспомнил один принцип, применявшийся лет 20 тому назад в некоторых калориметрических опытах для предохранения нагретых тел от охлаждения, и мне показалось, что он применим также и к предохранению холодных тел от нагревания. Таким образом, я попробовал сохранять сжижённый газ в сосудах с двойными стенками, воздух между которыми был сильно разрежен; опыт показал, что в таком «пустом сосуде» жидкий воздух испаряется в пять раз медленнее, чем в том же сосуде с воздухом между стенками, — настолько конвекция тепла частицами газа уменьшается сильным разрежением. Вскоре оказалось возможным устроить эти сосуды так, чтобы их лучеиспускание было тоже почти устранено; именно, было найдено, что если внутренние стенки сосуда покрыть блестящим слоем серебра, то излучение тепла уменьшается в 6 раз сравнительно с излучением такого же сосуда без металлического покрова. Совместное действие сильного разрежения и посеребрения выражается уменьшением потери тепла до 3%.

Пригодность таких сосудов зависит от степени разрежения между стенками, а холод является лучшим средством для его достижения: стоит только всё пространство, которое мы желаем разредить, наполнить лёгким оседающим паром и затем заморозить этот пар в сосуде, соединённом с главным, от которого потом он отпаивается. Преимущества этого способа заключаются в том, что он не требует разрежающего насоса и что разрежение, которое может быть им достигнуто, теоретически говоря, не имеет предела. Дело идёт быстро, если охладителем является жидкий воздух и если употреблять пары ртути или бензола. А при употреблении жидкого водорода пространство между стенками можно и не наполнять парами, ибо тогда сам воздух легко оседает; иными словами, если жидкий водород налить в сосуд с двойными стенками, пространство между которыми наполнено воздухом, то последний немедленно замерзает, и, таким образом, водород сам себя окружает сильной пустотой.

(*«О холоде»*, 1902 г.)

О. А. Ривош

СВОЙСТВА ЖИДКОГО ВОЗДУХА

Жидкий воздух представляет легко подвижную прозрачную жидкость бледноголубоватого (небесного) цвета, начинающую кипеть при —194° С при атмосферном давлении. Во время испарения жидкого воздуха сначала выделяется азот, потом аргон, —

воздух становится более богатым кислородом, и вследствие этого его бледноголубоватый цвет принимает густой синий оттенок.

Сохраняют жидкий воздух в стеклянных сосудах Дьюара (рис. 70). В таких сосудах он сохраняется в течение нескольких дней. Для перевозки такие сосуды вставляют в особо устроенные проволочные корзины. Жидкий воздух можно переливать из одного сосуда в другой. Чтобы сосуд не лопнул, сначала впускают в него холодные пары жидкого воздуха, а затем уже вливают последний.

В обращении с жидким воздухом соблюдают осторожность: нельзя плотно закрывать сосуды, так как может произойти разрыв их вследствие высокого давления паров, образующихся при испарении. Прикрывают сосуды куском войлока, пропускающим воздух. Жидкий воздух разрушает кожу при более или менее продолжительном соприкосновении с нею. Капли, падающие на руку при переливании жидкого воздуха, не причиняют никакого вреда. Точно так же, если погрузить палец в жидкий воздух, не касаясь стенок сосуда, и немедленно его вытащить, то не получается ожога. Объясняется это тем, что жидкий воздух, прилегающий к поверхности пальца, сильно испаряется, так как его температура значительно ниже температуры пальца, и вследствие этого образуется как бы оболочка из паров жидкого воздуха, который предохраняет на мгновение от ожога, более опасного, чем ожог от огня.

Если влить несколько капель жидкого воздуха на дно сосуда, то капли приходят в быстрое круговращательное движение, как капля воды в сфероидальном состоянии на раскалённой плите. Если влить некоторое количество жидкого воздуха в сосуд, наполненный водой, то воздух сначала будет плавать на поверхности воды и кипеть. Азот испаряется быстрее кислорода, плотность жидкости становится больше, капли жидкого воздуха опускаются, но вследствие образования газов снова поднимаются наверх.

Жидкий воздух изменяет физические свойства тел. Большую часть газообразных тел он превращает вследствие низкой своей температуры в жидкость, а жидкости — в твёрдые тела; твёрдые тела под действием его приобретают особые свойства.

Если вливать жидкую двуокись углерода CO_2 в сосуд Дьюара, наполненный жидким воздухом, то CO_2 падает на дно сосуда в твёрдом виде. Для отделения твёрдого CO_2 от жидкого воздуха пользуются простой фильтрацией.

Если погрузить пробирку, содержащую ртуть, в сосуд с жидким воздухом, то ртуть переходит в твёрдое состояние; разбив пробирку, получают кусок затвердевшей ртути, которым можно вбить гвоздь в дерево, как молотком.

Свинец, охлаждённый жидким воздухом, становится очень твёрдым и оказывает большое сопротивление растяжению; как только он нагреется до обыкновенной температуры, в нём появляется прежняя тягучесть.

Каучук от действия жидкого воздуха становится твёрдым и хрупким и может быть истолчён в порошок.

Эфир замерзает в кристаллическую массу. Безводный спирт становится густым и тягучим, как глицерин, и затем замерзает, образуя аморфную стекловидную массу. Спирт при обыкновенной температуре легко загорается от спички, твёрдый — не горит, но от удара может взорваться.

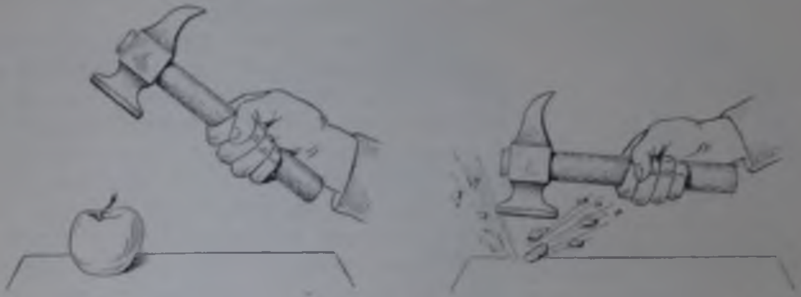


Рис. 71. Разбивание молотком замороженного в жидком воздухе яблока.

Плоды в жидком воздухе становятся твёрдыми, как камень, и упругими, как слоновая кость; на рисунке 71 показано, как молотком разбивают окаменевшее яблоко. Цвет плодов меняется и принимает красноватый оттенок.

Мясо принимает от действия жидкого воздуха светложёлтый цвет и становится твёрдым и хрупким, так что может быть истолчено в порошок.

Напитанная жидким воздухом губка сгорает при зажигании с треском.

Интересен опыт получения тигля или бокала из ртути от действия жидкого воздуха. В большой железный тигель вставляют меньший таким образом, чтобы пространство между стенками было одинаковое. В это пространство наливают ртуть, а в меньший тигель —

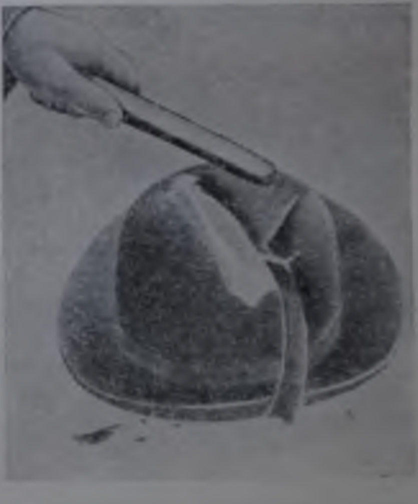


Рис. 72. Разбивание замороженной в жидком воздухе фетровой шляпы.

жидкий воздух. Ртуть замерзает и становится твёрдой. По удалении двух взятых тиглей остаётся тигель из затвердевшей ртути; при ударе по нему деревянным молотком он издаёт звук серебра.

От действия жидкого воздуха увеличивается упругость металлов и большей частью возрастает сопротивление их растяжению — уменьшается это сопротивление для цинка и висмута.

Интересен опыт кипения на куске льда. На кусок льда, как изображено на рисунке 73, поставлен чайник, куда влит жидкий воздух. Воздух кипит вследствие большой разности между его температурой и температурой льда. Лёд для жидкого воздуха является как бы тем же огнём, который приводит воду в кипение.

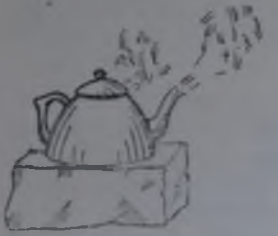


Рис. 73. Кипение жидкого воздуха на «ледяной плите».

Можно получить воздух и в твёрдом виде. Если опустить открытую пробирку, содержащую обыкновенный воздух, в жидкий водород, то воздух в пробирке превратится в твёрдое тело.

Действительность далеко опередила предположения и ожидания относительно применения жидкого воздуха для промышленных целей.

(«Сжатый и жидкий воздух», 1907 г.*)*

ГЛАВА V

ГАЛОГЕНЫ

> *«У нас не было серьёзной и современной химической промышленности. У нас она есть теперь».*
>
> (И. Сталин, Вопросы ленинизма, 1939, стр. 373.)

А. Е. Ферсман

О СОЛИ И СОЛЯХ

Соль мы знаем хорошо в нашей обыдённой жизни и даже привыкли просто солью называть особую соль, — поваренную, или, выражаясь химически, хлористый натрий. Но, кроме этого вещества, есть ещё много разных солей, которые нам тоже хорошо известны. Они являются такими же солями, нередко хорошо растворимы в воде, часто принимаются нами как лекарства, как острые химические вещества, или используются как яды. Многие соли употребляются в сельском хозяйстве, особенно соли калия, но особенно много самых разнообразных солей перерабатывается в химической промышленности.

Конечно, не все эти соли являются продуктами самой земли и непосредственно из неё добываются, — очень значительная часть их получается на химических заводах при переработке разных минералов, но среди всех солей самая главная и основная та, которую мы называем просто солью, — соединение элементов натрия и хлора.

Каждый человек в год поглощает её до 6—7 *кг*, а всего человечество для еды и для химических производств ежегодно добывает её 18 млн. *т*, или больше 1 миллиона вагонов, или, ещё иначе, свыше 20 000 поездов. Без соли не может жить ни одна страна, и потому неудивительно, что туда, где нет соли, надо её привозить во что бы то ни стало или во что бы то ни стало добывать: отсюда делается понятным, что некоторые народы Центральной Африки платили иногда за соль по цене, равной весу золота, т. е. за килограмм соли — килограмм золотого песку. В Китае умудрялись самыми своеобразными способами вываривать соль из источников, проводя воду по бамбуковым трубам и нагревая котлы природными горючими газами. И вместе с тем, чем культурнее была страна, тем больше потребляла она соли.

Конечно, вы сразу догадаетесь, что главный и основной источник соли — это её запасы в морях и океанах. Отсюда начинается история её странствования над землёй, по земле и в самой земле.

Ведь достаточно указать, что в воде всех морей и океанов содержится около 20 миллионов кубических километров соли, т. е. ящик, обе стороны основания которого равны 1000 *км*, а высота 20. Впрочем, чтобы лучше понять наши цифры, скажем, что всю Европейскую часть СССР можно было бы покрыть слоем в 4—5 *км* чистой белой соли.

После сказанного неудивительно, что из этих морей и океанов могли образоваться громаднейшие скопления чистейшей соли...

Для того чтобы оценить грандиозность таких скоплений соли, я приведу выдержки из описания моего посещения в 1914 г. Илецкой Защиты: «Вы входите в небольшой надшахтный домик, надеваете рабочую куртку и, воспользовавшись карманным электрическим фонариком, под руководством штейгера, начинаете спускаться вниз по удобной деревянной лестнице, кое-где освещённой электрическими лампочками. Уже очень скоро деревянные стенки заменяются серой кристаллической массой сплошной каменной соли. На 40-м метре вы попадаете в отдельные широкие штольни старых разработок: вокруг — чистая, светлосерая соль, искрящаяся при электрическом свете; она настолько тверда и плотна, что не нуждается ни в каких деревянных крепях. На полу и на своде потолка протекающие воды заставляют её перекристаллизовываться в пушистые белоснежные массы. Длинные тонкие сталактиты соли, как сосульки льда, спускаются с потолка, а снизу им навстречу растут такие же сталагмиты...

Однако не в этих штольнях идёт работа по добыче каменной соли. Вы подходите к большому внутреннему окну, и перед глазами открывается величественная картина: под ногами внизу расстилается огромный зал глубиной в 70 *м*, шириною в 25 *м* и длиной в 240 *м*.

Оценить эти цифры можно, лишь вспомнив, что высота зала немного менее 20-этажного городского дома, а длина равняется почти $^1/_4$ *км*.

Вначале мы находимся под самой крышей этой выработки, почти единственной в мире по своей грандиозности: деревянный потолок покрывает всю поверхность зала, так как падение с такой грандиозной высоты хотя бы незначительного соляного сталактита угрожала бы смертью работающему в глубине.

Весь зал освещается 8 электрическими лампами в 700 свечей каждая; долго не может привыкнуть глаз к ощущению яркого света, и только через некоторое время начинаешь различать внизу вагонетки, людей, целый муравейник работы».

Но не только из этих скоплений каменной соли черпает человек необходимую ему соль земли. Десятки тысяч соляных озёр разбросаны по поверхности всей Земли, и здесь накоплены богатейшие её запасы: достаточно указать, что одно знаменитое Баскунчакское озеро, в Астраханской степи, содержит очень большое количество соли, и оно одно обеспечило бы весь Союз на 400 лет по наиболее высоким нормам потребления. Есть богатые солонцы и озёра в Австралии и в Аргентине, площади которых достигают 10 000 *кв. км,* в которых запасы соли ещё значительнее.

Да вообще о соли человечеству заботиться нечего; ему не грозит соляной голод, а среди всех стран всего мира, несомненно, страной наиболее богатой и солью и солями является наш Союз.

(«Занимательная минералогия», 1937 г.)

М. Кучеров

ПОВАРЕННАЯ СОЛЬ

Поваренную соль, конечно, знает всякий, так как наряду с хлебом она является самым обыдённым пищевым продуктом, который мы ежедневно по нескольку раз видим на обеденном столе и употребляем на кухне при изготовлении пищи, — отсюда и название «поваренная соль».

Несомненно, что наши предки с незапамятных времён стали употреблять поваренную соль не столько в качестве питательного, сколько в качестве вкусового средства, но теперь мы знаем, что поваренная соль прежде всего является веществом, необходимым для жизни человеческого организма. В организме человека средних размеров содержится немного более 400 *г* поваренной соли: она входит в состав крови и служит для образования в желудочном соке соляной кислоты, необходимой для пищеварения. В один год взрослый человек потребляет примерно около 7 *кг* соли, мировое же потребление её в пищу составляет более 10 200 000 *т* в год.

Помимо «поваренных» целей, эта соль имеет и разнообразные другие применения и служит исходным материалом для приготовления в заводских масштабах самых разнообразных «химических» продуктов, начиная от невинной соды, которую знает почти всякая хозяйка, и кончая грозными боевыми «удушливыми газами», которые в первую мировую войну погубили тысячи человеческих жизней.

Поваренная соль находится в готовом уже виде в природе, причём в небольших количествах она распространена повсеместно, но особенно много её содержится в морской воде, в воде так называемых соляных озёр и соляных источников, и затем в больших массах она встречается в виде залежей твёрдой, так называемой каменной соли. Поваренная соль и добывается из мор-

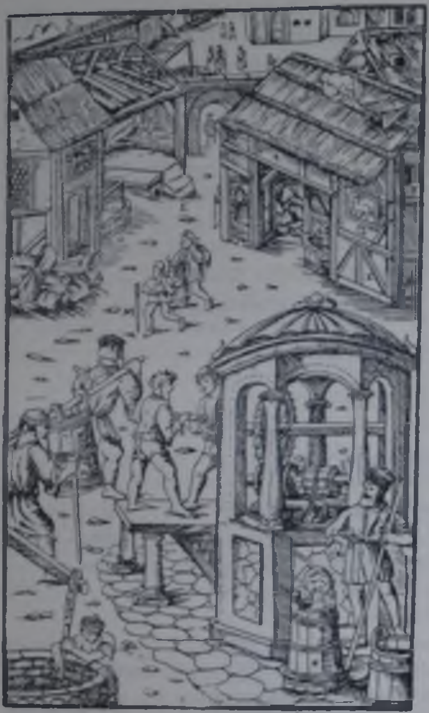


Рис. 74. Старинная солеварня.

ской воды и воды соляных озёр и источников — путём естественного или искусственного испарения воды, а из залежей каменной соли, которые обыкновенно находятся под поверхностью земли, — путём выламывания рудничным способом.

Морская вода представляет собой раствор (2—4%) самых разнообразных солей, причём на долю поваренной соли приходится примерно 76%. В литре океанской воды содержится около 26—30 *г* поваренной соли: в закрытых морях меньше, например в Балтийском — 4,8 *г*, в Чёрном море — 15,9 *г* на литр.

Тратить какое-либо топливо для испарения морской воды с целью добывания из неё соли, конечно, невыгодно; поэтому стремятся эту операцию производить естественным путём. В южных странах, например в Италии, на берегах Средиземного моря или у нас в Крыму на Черноморском побережье, для испарения морской воды пользуются горячими лучами южного солнца. Для этой цели по берегам устраивают обширные мелкие бассейны, куда весной напускают морскую воду; летом, под влиянием солнечной теплоты, вода постепенно испаряется, и рассол становится всё гуще и гуще; постепенно из него начинает выделяться гипс, а затем, когда содержание поваренной соли в рассоле превысит 26,4%, раствор станет насыщенным[1], из него выкристаллизовывается соль почти в чистом виде.

Прежде чем начнут выделяться другие соли, осевшую соль, или так называемую «самосадку», извлекают, складывают в кучи, чтобы дать возможность стечь маточному рассолу, имеющему горький вкус от присутствия в нём магниевых солей, а осенью просохшую соль складывают в кули.

---

[1] Такой насыщенный раствор природных солей называют «рапой».

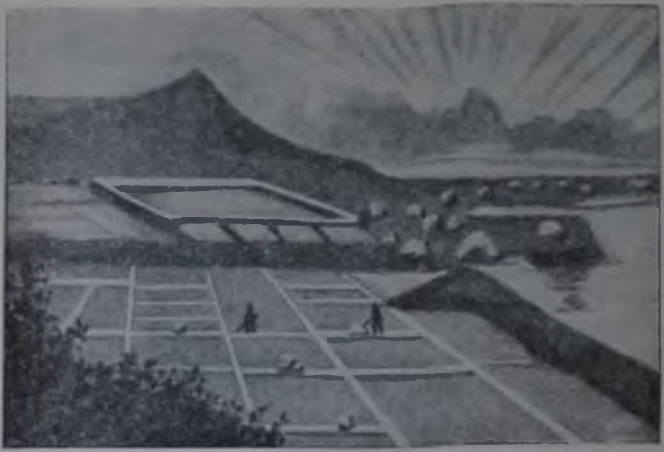


Рис. 75. Бассейны на берегу моря для выпаривания соли.

Поваренная соль, получаемая из морской воды, или так называемая морская соль, особой чистотой не отличается; «самосадка» содержит собственно поваренной соли (хлористого натрия) от 87 до 97%, а в морской соли, получаемой из воды Охотского моря вымораживанием, содержится поваренной соли около 77%.

Большие количества соли доставляют нам соляные озёра. На территории СССР имеется большое количество соляных озёр, причём наиболее многочисленные (около 700) находятся в Сталинградской и Астраханской областях. Особенно богатыми запасами соли отличаются озёра Эльтон и Баскунчак.

Эльтонское озеро занимает площадь в 205,44 *км*², и дно его покрыто пластом поваренной соли толщиной более 5 *м*. В своё время здесь производилась выработка этой самосадочной соли, но уже с 1882 г. она почти прекратилась, главным образом ввиду отдалённости озера от Волги (149,8 *км*) и других путей сообщения, ввиду топкости берегов, большого слоя рапы (142,24 *см*), затрудняющего добычу соли, и вследствие конкуренции озера Баскунчак.

Озеро Баскунчак расположено в 53,5 *км* от Волги и соединено железной дорогой с Владимирской волжской пристанью. Оно занимает поверхность в 190 *км*², и на дне его имеется три пласта соли: верхний, ныне разрабатываемый, в 6¹/₂ и 9 *м*; средний в 2 *м* и нижний — свыше 13 *м*, причём запас соли только в одном верхнем пласте исчисляется примерно в 720 000 000 *м*³. Зимой озеро покрыто рапой, весной слой рапы уменьшается до 18,4 *см*, а летом вода испаряется, и рапы почти нет; это обстоятельство облегчает работу по добыче соли, которая ведётся здесь 6 месяцев в году

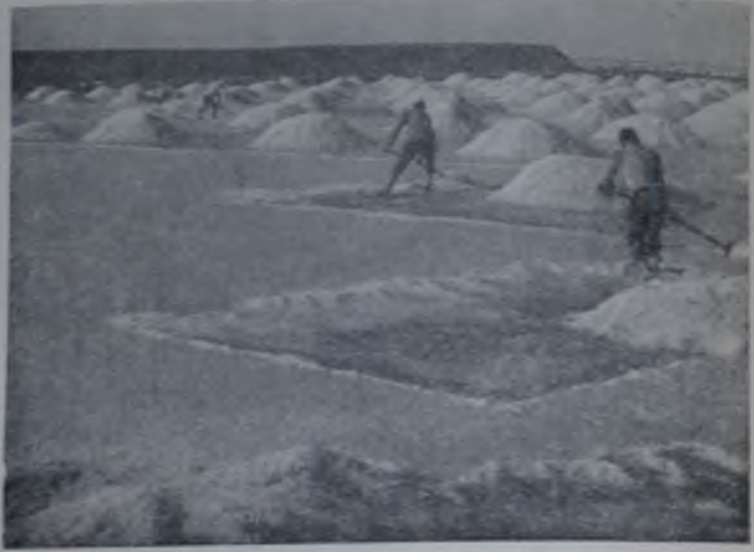


Рис. 76. Бурты соли, готовые к вывозу (Баскунчакское озеро).

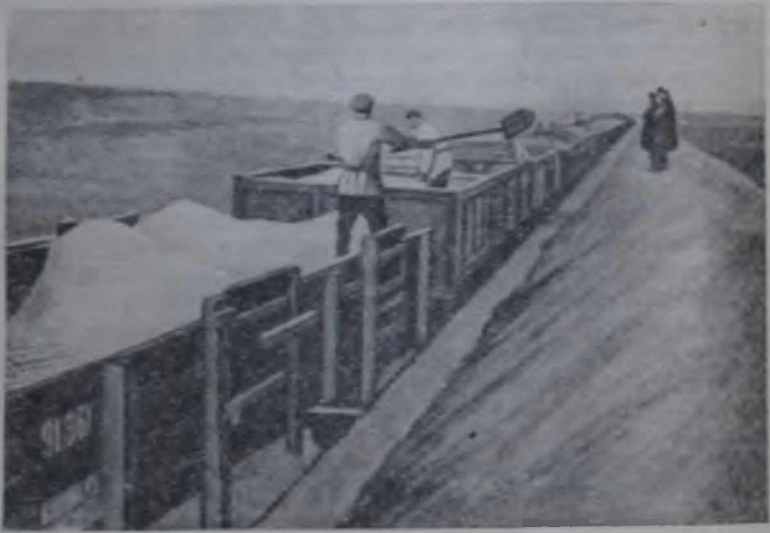


Рис. 77. Вывоз соли в вагонах.

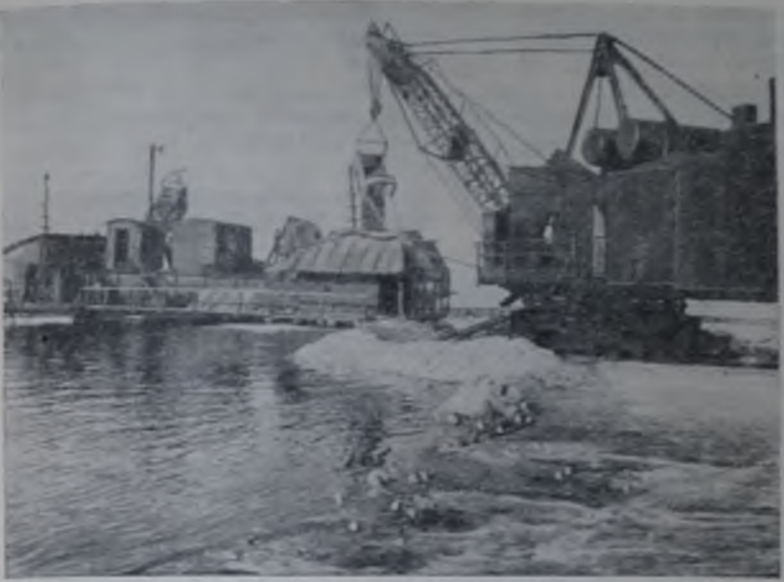


Рис. 78. Механизация соляных промыслов.

(в других местах только 3 месяца), и производилась до революции весьма примитивным способом — вручную: рабочие ломами и лопатами выламывали соль и складывали её в кули для просушки. В настоящее время все работы механизированы.

За 1925—1926 гг. на баскунчакских промыслах было добыто около 385 000 *т* самосадочной соли, что составляет примерно около половины всей соли, добытой за это время в СССР.

В баскунчакской соли содержится чистой поваренной соли 97—99%.

В местностях с более холодным климатом, например у нас на северо-востоке Европейской части Союза, соль добывается из воды соляных озёр и ключей путём выпаривания в соляных варницах. Недостаточно крепкие рассолы предварительно концентрируют (сгущают) при помощи градирен (рис. 79). Градирня представляет собой широкую стену, сложенную из вязанок хвороста. Наверху градирни имеется жёлоб с мелкими отверстиями. В этот жёлоб накачивается рассол, который через имеющиеся в нём отверстия стекает по хворосту вниз в устроенный у подошвы градирни бассейн. Благодаря огромному увеличению поверхности воды при стекании её по хворосту, значительно ускоряется её испарение (особенно при ветре), и в нижнем бассейне собирается уже значительно более крепкий рассол, который затем упаривается в котлах на огне. Таким путём получается так называемая выварочная соль. Различные сорта выварочной соли содержат от 79 до 98% поваренной соли.

Наиболее чистая поваренная соль получается из залежей каменной соли, образовавшихся в природе в весьма отдалённые времена путём естественного испарения морской воды. Из иностранных месторождений особенно чистая соль получается в Величке (в Галиции) и Стассфурте (в Германии). У нас богатейшие залежи каменной соли находятся: около селения Брянцевка в 10,7 *км* от Артемовска, около Славянска, в Илецкой Защите, около Соликамска и во многих местах Кавказа и Сибири.

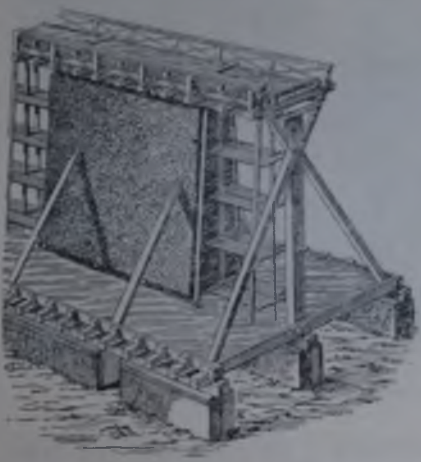


Рис. 79. Градирня.

Каменная соль залегает или в виде пластов, или в виде штоков, т. е. огромных глыб, причём залежи обычно находятся на некоторой глубине под землёй и лишь в немногих местах они выходят на поверхность земли (например, в Илецкой Защите). Для добычи каменной соли устраиваются шахты, т. е. вертикальные колодцы, от которых отходят боковые галереи — так называемые штольни и штреки. Соль выламливается обыкновенно при помощи динамитных патронов, нагружается в вагончики, подвозится к шахтам и через них подаётся наверх.

Если соль содержит землистые примеси, то разработка ведётся «мокрым» способом, т. е. соль под землёй переводится в раствор, который подаётся наверх и перерабатывается (выпаривается), как и естественные рассолы. Брянцевская соль содержит от 98,5 до 99,5% чистой поваренной соли. Такого же и ещё лучшего качества соль (99,8%) получается в Илецкой Защите.

Около рудников обыкновенно устраиваются мельницы, на которых производится перемалывание соли.

Глыбы каменной соли легко раскалываются по трём взаимно перпендикулярным направлениям, т. е. параллельным граням куба. При выпаривании растворов поваренная соль кристаллизуется в виде кубов, причём если выпаривание вести при температуре кипения раствора, то получаются мелкие кристаллы; при более же медленном выпаривании при 40—50° получаются более крупные кристаллы. При нагревании до температуры каления кристаллы трещат и рассыпаются благодаря тому, что маточный раствор[1], заключённый (хотя и в ничтожных количествах) в кристаллах, выделяет водяной пар, который их и разрывает. При температуре красного каления соль плавится в бесцветную маслянистую жидкость, которая при белом калении превращается в парообразное состояние. При 12° в 100 частях воды растворяется 36,9 весовой части соли. В горячей воде поваренная соль растворяется лишь немногим лучше, чем в холодной (тогда как обычно растворимость солей в воде с повышением температуры значительно повышается).

Наиболее чистые сорта поваренной соли, содержащие лишь небольшую примесь гипса и некоторых других солей, употребляются, как известно, в пищу. Если под руками нет чистой (каменной или самосадочной) соли, то столовую соль готовят из более грязной путём перекристаллизации, т. е. соль растворяют в воде, раствор фильтруют или отстаивают и снова выпаривают в железных котлах, или так называемых чренах. Первые порции (чренный камень) и последние порции выделяющейся соли идут в отброс; в пищу же употребляются средние порции.

Менее чистые сорта поваренной соли, между прочим и вышеупомянутый чренный камень, называемый также «лизальным камнем», употребляются в качестве примеси к корму скота.

Большие количества соли употребляются для консервирования, т. е. сохранения различных пищевых продуктов — мяса, рыбы, овощей, грибов и т. п. Консервирование солением основано на так называемых антисептических или противогнилостных свойствах поваренной соли, т. е. на способности её убивать бактерии или микробы, вызывающие гниение веществ растительного или животного происхождения. Поваренная соль, правда, довольно слабый антисептик, развитие гнилостных бактерий прекращается лишь при содержании в продукте 10—15% поваренной соли, но зато она дёшева и безвредна для нашего организма, чего нельзя сказать о других консервирующих средствах, например о борной и салициловой кислотах, формалине и др., которые уже сравнительно в небольших дозах вредны для здоровья.

С той же целью предохранения от гниения употребляют поваренную соль для пропитывания корабельного дерева, а также железнодорожных шпал там, где соль имеется в изобилии: так, например, поваренной солью пропитаны шпалы Баскунчакской железной дороги и некоторых наших южных дорог.

Раствор поваренной соли и квасцов (1,2 части поваренной соли, 3 части квасцов и 90 частей воды) употребляют в кожевенном производстве для вымачивания очищенных от волоса так называемых бученых кож (т. е. кож, разбухших и размягчённых после обработки ржаным и овсяным киселём и другими подобными средствами). Такое вымачивание называется белым, или

---

[1] Раствор, из которого велась кристаллизация. *(Состав.)*.

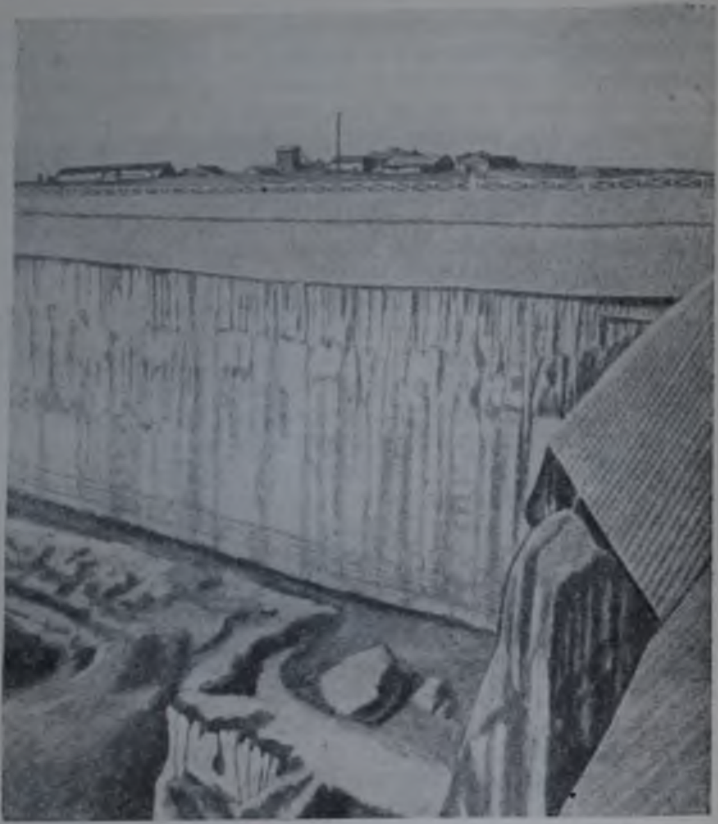


Рис. 80. Разработка соли открытым способом в г. Илецке.

сыромятным, дублением; производится оно с целью предохранить кожу от загнивания.

В мыловаренном производстве поваренная соль употребляется для «высаливания» мыла. Мыло получается при варке какого-нибудь жира или сала со щёлочью сперва в виде густой массы, так называемого «мыльного клея», представляющего собой смесь мыла и водного раствора глицерина; при прибавлении поваренной соли эта масса разделяется на два слоя: внизу получается водный раствор глицерина и поваренной соли, а наверху собирается полутвёрдое мыло, которое отделяется и затем при охлаждении затвердевает.

Поваренная соль употребляется затем в холодильном деле, а именно — она может служить для приготовления холодильных смесей. Дело в том, что растворение твёрдого тела, подобно плавлению, требует затраты теплоты (теплоты растворения); так, если смешать 1 часть поваренной соли с 3 частями толчёного льда или снега (при 0°), то они взаимно растворяют друг друга, поглощая теплоту, в результате чего смесь сильно охлаждается, а именно до —22°. Разумеется, для приготовления холодильных смесей можно пользоваться самыми грязными сортами поваренной соли.

Особенно часто приходится пользоваться холодильными смесями в лабораториях, главным образом химических. В технике же для получения низких температур (для приготовления льда, замораживания мяса и т. п.) существуют специальные холодильные машины, основанные на принципе понижения температуры при быстром испарении сгущённых в жидкость газов, но за отсутствием их можно прибегать к холодильным смесям.

Из поваренной соли мы можем получить натрий, хлор и различные химические соединения, в состав которых входят натрий и хлор. Практически, исходя из поваренной соли, в больших технических масштабах получают прежде всего следующие вещества: едкий натр ($NaOH$), сернокислый натрий, называемый также сульфатом натрия, или просто сульфатом — (Na_2SO_4), соду, или углекислый натрий (Na_2CO_3), хлорноватистонатровую, или так называемую белильную соль $NaClO$, хлор, хлористоводородную, или соляную, кислоту HCl, нашатырь, или хлористый аммоний NH_4Cl и др. Все перечисленные вещества относятся к числу основных продуктов химической промышленности в том смысле, что они употребляются во многих химических производствах и служат в свою очередь исходными материалами для изготовления ряда других веществ.

Производства упомянутых продуктов тесно между собой связаны и осуществляются обыкновенно на одних и тех же заводах, которые для краткости часто называют содовыми заводами на том основании, что большая часть указанных веществ получается попутно при фабрикации соды.

(«Поваренная соль и её техническое использование», 1933 г.)

В. С. Горшешников

«СОЛЯНЫЙ СПИРТ» И «ОКСИМУРИЕВАЯ КИСЛОТА»

(Из истории открытия и установления состава соляной кислоты и хлора)

Трудно сказать, кто и когда впервые получил соляную кислоту. Во всяком случае нам известно, что уже в конце XV в. алхимик Василий Валентин и в XVI в. Андрей Либавий в усердных поисках чудодейственного жизненного элексира прокаливали в своих странных для нас алхимических приборах поваренную соль с квасцами и купоросами и получали продукт, который они описали под названием «кислого спирта». Это и была знакомая теперь нам соляная кислота, конечно, очень нечистая. Для первых исследователей это было совершенно новое вещество, обладавшее свойствами, которые сильно поражали их воображение. «Кислый спирт» дымил в воздухе. Нюхая его, — задыхались и кашляли. При попытках пробовать на вкус, он обжигал язык и нёбо. Под его действием ткани разрушались. Металлы он разъедал.

В 1658 г. немецкий учёный Глаубер нашёл новый способ получения соляной кислоты, которую он назвал «соляным спиртом». Способ этот в широких размерах применяется ещё и до сих пор в лабораториях и на производстве. Он нагревал поваренную соль с концентрированной серной кислотой и выделявшийся «дым» поглощал водой.

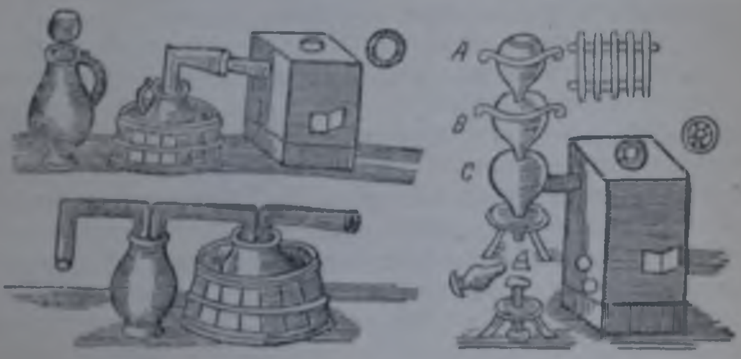
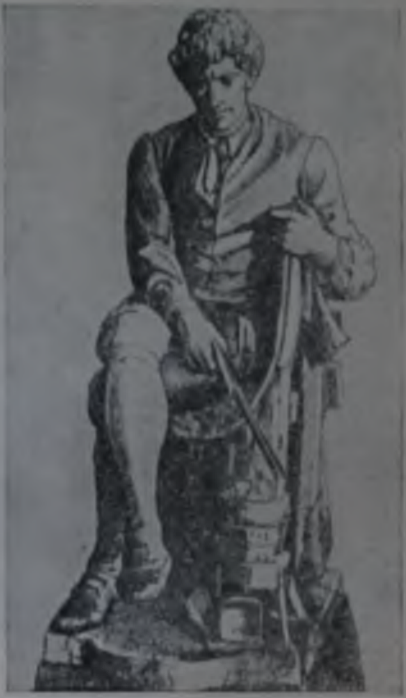


Рис. 81. Приборы, применявшиеся Глаубером.

В 1772 г. знаменитый своими опытами с газами и открытием кислорода английский учёный Джозеф Пристли установил, что при действии серной кислоты на поваренную соль выделяется бесцветный газ, который может быть собран над ртутью, и что этот газ обладает чрезвычайно большой способностью растворяться в воде. Водный раствор этого газа получил название соляной кислоты (acidum muriaticum), а самый газ Пристли назвал чистой газообразной соляной кислотой.

В 1774 г. шведский учёный Шееле, исследуя действие соляной кислоты (которую он называл ещё «соляным спиртом») на двуокись марганца, нашёл, что двуокись марганца растворяется в соляной кислоте на холоде, образуя темнокоричневый раствор, из которого при нагревании выделяется газ жёлто-зелёного цвета, обладающий очень резким запахом, способностью разрушать растительные краски и действующий на все металлы, не исключая и золота. Шееле, как последователь господствовавшей в то время флогистонной теории, считал, что смысл этой реакции заключается в том, что под действием двуокиси марганца из соляной кислоты уходит содержащийся в ней флогистон, благодаря чему соляная кислота превращается в жёлто-зелёный газ. Поэтому самый газ он назвал «дефлогистированной (т. е. лишённой флогистона) соляной кислотой».

Открытие «дефлогистированной соляной кислоты» произошло в то время, когда пробил последний час господства ложных представлений о существовании флогистона. Лавуазье правильно понял и сумел с убедительностью доказать роль открытого уже ранее Пристли кислорода в процессах окисления, горения, ржавления и т. п.

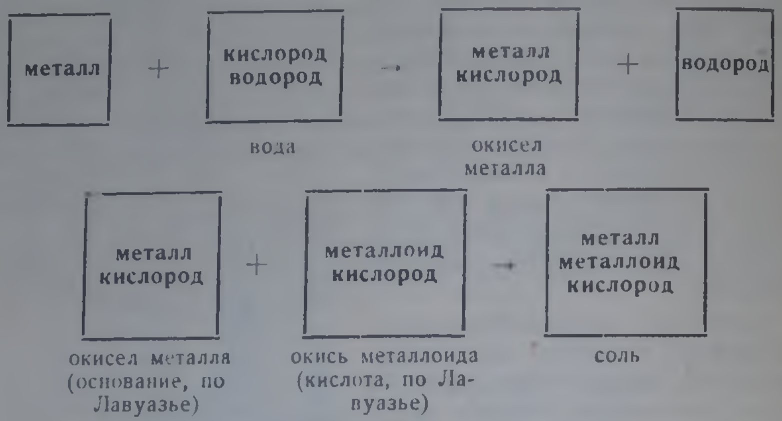


К. В. Шееле *(1742—1786)*.

Лавуазье считал, что всякая кислота представляет собою окисел неметалла и что, следовательно, необходимой составной частью всякой кислоты является кислород. Самое название этого элемента уже отражало этот взгляд. Таким образом, серной кислотой Лавуазье и его современники называли то вещество, которое теперь нам известно под именем серного ангидрида (SO_3). Однако при попытках объяснить все известные уже тогда факты указанным образом вскоре стали возникать затруднения. Прежде всего бросалось в глаза, что если кислоты представляют собою вещества, непременной составной частью которых, наряду с металлоидом, является только кислород, то непонятно, почему при действии металлов из кислот обыкновенно выделяется водород. Этому было придумано такое объяснение:

Кислоты (по-современному, кислотные окислы) всегда удерживают около себя некоторое количество воды, подобно тому, как, например, соли серной кислоты в купоросах удерживают около себя кристаллизационную воду. При взаимодействии металла с «кислотой» эта вода подвергается быстрому разложению, её водород выделяется, а кислород соединяется с металлом и образует окисел металла, который сейчас же присоединяет к себе «кислоту» (т. е. окисел металлоида). В результате такой реакции образуется соль.

Схема образования соли из кислоты и металла по представлениям химиков начала XIX в.


металл
+
кислород водород
→
металл кислород
+
водород
вода
окисел металла
металл кислород
+
металлоид кислород
→
металл металлоид кислород
окисел металля (основание, по Лавуазье)
окись металлоида (кислота, по Лавуазье)
соль

Пример.

Реакция между цинком и серной кислотой:

$$Zn + SO_3 \cdot H_2O \rightarrow ZnO \cdot SO_3 + H_2.$$

Объяснение это было придумано неплохо: оно вполне согласуется с наблюдаемыми фактами.

Не менее остроумно было построено и предположение относительно состава соляной кислоты, которая, как было уже в то время известно, не получается путём соединения какого-нибудь из известных металлоидов с кислородом. Суть тогдашних рассуждений сводилась к следующему. Соляная кислота, как и все остальные кислоты, должна представлять собою соединение кислорода с каким-то ещё неизвестным элементом. Этот предполагаемый элемент, соединённый с кислородом и безводной соляной кислотой, был назван мурием (murium) от названия соляной кислоты (acidum muriaticum). Безводная соляная кислота, по тогдашним представлениям, — это окись мурия.

Что же представлял собою, с этой точки зрения, тот жёлто-зелёный газ, об открытии которого мы говорили раньше? Его изучением в течение ряда лет усиленно занимались наиболее блестящие учёные того времени. Бертолле, Гей-Люссак, Тенар, Гемфри Дэви, «организатор химии» — шведский учёный Берцелиус и многие другие потратили немало времени и настойчивости на то, чтобы разгадать загадку этого таинственного газа. Так как этот газ (его мы теперь называем хлором) может быть получен путём окисления соляной кислоты, то было вначале выдвинуто предположение, что он представляет собой соединение окиси мурия с кислородом, т. е. дальнейшую ступень окисления мурия. Поэтому Бертолле предложил назвать этот газ окислённой соляной (муриевой) кислотой (acidi muriatique oxigenee, acidum muriaticum oxydatum), или оксимуриевой кислотой (acidum oxixymuriaticum).

В начале XIX в. много усилий посвятил изучению «муриевой» и «оксимуриевой» кислот известный своими многочисленными открытиями Гемфри Дэви (ему, между прочим, мы обязаны открытием элементов калия, натрия, кальция, бария, стронция и магния). Действуя на металлический калий совершенно сухой «газообразной муриевой кислотой», т. е. сухим хлористым водородом, Дэви получал водород. На этом основании он пришёл к заключению, что в газообразной «муриевой кислоте» содержится удерживаемая ею вода. Однако, несмотря на все попытки, ему не удавалось выделить эту воду из сухого хлористого водорода. Точно так же никакими средствами Дэви не мог добиться выделения кислорода из «муриевой» и «оксимуриевой» кислот и получения из последнего гипотетического «мурия».

Гей-Люссак *(1778—1850)*.

На основании этого Дэви в сообщении о своих опытах с «оксимуриевой кислотой», сделанном им 15 ноября 1810 г., высказался в пользу признания «оксимуриевой кислоты» веществом, не подвергающимся разложению, т. е. элементом, и предложил назвать это вещество по его цвету хлорином (chloric gas или chlorine; по-гречески хлорос — «зеленоватый»). Так этот газ и до сих пор называется по-английски.

Однако благодаря авторитету Лавуазье убеждение в том, что в кислоте непременно должен содержаться кислород, заставляло большинство учёных решительно отказываться от предположения, что хлор является элементом. Поэтому даже после того, как Дэви смело высказывал своё мнение о том, что в «оксимуриевой кислоте» кислорода нет, знаменитые французские химики Гей-Люссак и Тенар и вместе с ними Бертолле и шведский химик Берцелиус горячо защищали противоположный взгляд, стремясь в своих опытах отыскать доказательства в его пользу. Однако упрямые факты беспощадно выбивали защитников ложного взгляда из их последних позиций. В 1811 г. сложил оружие Бертолле, а в 1813 г. Гей-Люссак и Тенар принуждены были присоединитъся к мнению Дэви. К этому их принудили результаты независимых друг от друга исследований Дэви и самого Гей-Люссака над только что открытым Б. Куртуа веществом, которое представляло собою тёмные металлические кристаллы и легко превращалось в красивые темнофиолетовые пары. Это вещество Дэви назвал йодином (jodine), Гей-Люссак йодом (jod). Оно, несомненно, представляло собой простое вещество и в то же время оказалось очень близким по своим свойствам к «оксимуриевой кислоте» — хлорину Дэви. Признав мнение Дэви о хлорине, Гей-Люссак предложил называть его так, как его теперь называем, — хлором (chlor).

Г. Дэви *(1778—1829)*.

Из числа свойств хлора (и йода) особенно поражала многих его способность энергично вступать в непосредственное соединение с металлами. На основании этого немецкий учёный Швейгер предложил в 1811 г. назвать хлор галогеном, т. е. образующим соли — солеродом, а хлористые металлы — галоидами, т. е. похожими на соль. В русской литературе хлор называли солетвором, в 1820 г. впервые появилось название хлор.

Победу Дэви признали Бертолле, Гей-Люссак, Тенар и другие, но оставалось ещё много учёных, во главе с пользовавшимся в то время громадным авторитетом Берцелиусом, которые всё ещё не могли отказаться от прежних взглядов. В 1815 г. Берцелиус в большой статье старается всеми способами показать, что старая теория всё ещё в состоянии объяснить факты, и призывает всех химиков сохранить её в интересах науки. Наконец, и Берцелиус всё-таки отказался от попыток воскресить похороненные взгляды. В воспоминаниях о своей работе в лаборатории Берцелиуса Фридрих Вёлер пишет:

> «Берцелиус выказал большой интерес к исследованию синильной кислоты, за которое я снова принялся. Он показал мне с большим удовлетворением свой отзыв о моих предыдущих опытах с этой кислотой и высказал мнение, что её существование много способствовало большей достоверности теории хлора. Я был очень удивлён, что он говорит хлор, а не окислённая муриевая кислота, так как до этих пор он был твёрдым сторонником старой точки зрения. Однажды, когда Анна мыла посуду, заметила, что она сильно пахнет оксимуриевой кислотой, Берцелиус сказал: «Послушайте, Анна, вы не

должны больше говорить оксимуриевая кислота. Говорите хлор, так будет лучше».

Д. Я. Берцеллиус (*1779—1848*).

В связи с установлением отсутствия кислорода в «оксимуриевой кислоте» напрашивалось представление о том, что и в «муриевой кислоте» нет этого элемента. Исследования свойств кислот приводили к мысли о том, что необходимой составной частью всех кислот является водород. Работы по изучению йодистоводородной (HJ) и синильной (цианистоводородной HCN) кислот, выяснившие с несомненностью отсутствие в этих кислотах кислорода, заставили прийти к заключению о том, что кислорода нет и в близкой с названными веществами хлористоводородной кислоте. Однако долго ещё многие отказывались распространить и на другие кислоты представление о непременном присутствии в них водорода. Взгляд на кислоты как на вещества, присутствие в которых водорода является необходимым условием существования у них кислотных свойств, окончательно закрепился в умах химиков только около 1840 г.

Так в течение десятилетий длился научный спор, приведший к выяснению того, что представляют собою хлор, соляная кислота и кислоты вообще.

А. Е. Ферсман

ЙОД ВЕЗДЕСУЩИЙ

Все мы хорошо знаем, что такое йод, пользуемся им, когда пораним себе палец, принимаем его бурокрасные капли с молоком в старческие годы. Это — всем хорошо известное лекарство, а между тем как мало и плохо знаем мы, что такое йод и какова его судьба в природе.

Трудно найти другой элемент, который был бы более полон загадок и противоречий, чем атом йода. Больше того: мы так мало и так плохо знаем самые основные моменты истории йода и его свойств, что до сих пор является непонятным, почему и как мы лечим при помощи йода и откуда он взялся на земле.

Надо сказать, что ещё Д. И. Менделеев, наш великий химик, пережил много неприятностей из-за йода. Д. И. Менделеев распределил свои элементы в порядке повышения атомных весов, а йод с теллуром заняли неправильные места, что так и осталось до нашего времени. Йод и теллур оказались почти единственными исключениями, нарушившими стройность менделеевского закона. Правда, сейчас мы догадываемся, в чём тут дело, но много лет это представляло камень преткновения для Менделеева, и неоднократно критики его блестящей теории ему говорили, что он подтасовывает факты и переставляет элементы так, как ему это удобно.

Йод — твёрдое тело, он образует серые кристаллики с настоящим металлическим блеском. Как будто бы металл, но он просвечивает фиолетовым цветом, и вместе с тем, если мы поместим в стеклянный флакон металлические кристаллики йода, то очень скоро увидим в верхней их части фиолетовые пары этого вещества. Он очень легко испаряется, возгоняется в виде фиолетовых паров.

Вот вам первое противоречие, которое бросается в глаза, но за ним сейчас же следует и второе. Цвет паров темнофиолетовый, а самого йода — серометаллический. Соли же йода вообще бесцветны и выглядят, как простая поваренная соль; иногда лишь они обладают слегка желтоватым оттенком.

Пойдём дальше по загадочным путям йода.

Йод — исключительно редкий элемент. Наши геохимики подсчитали, что содержание его в земной коре составляет всего лишь около одной (или двух) стотысячной процента, а между тем йод всюду присутствует. Мы можем даже ещё резче сказать: нет ничего в окружающем нас мире, где бы точнейшие методы анализа в конце концов не открыли несколько атомов йода. Всё пронизано йодом — твёрдая земля и горные породы: самые чистые кристаллы прозрачного горного хрусталя или исландского шпата содержат в себе довольно много атомов йода. Значительно больше его в морской воде. Очень много в почвах, в текучих водах, ещё больше в растениях, в животных и в человеке. Мы поглощаем йод из воздуха, который весь насыщен парами воды, мы вносим йод в свой организм через пищу и воду, мы не можем жить без него.

И понятным является вопрос: откуда же взялось так много йода, где его первоисточник, из каких глубин земных недр принесён к нам этот редкий элемент? А между тем точные анализы наблюдений показывают, что нам неизвестен тот замечательный источник, откуда он взялся, ибо мы никак не можем понять, в каких минералах он встречается, так как в глубинах изверженных пород и расплавах магмы мы не знаем йода.

Некоторые наши геохимики рисуют картину происхождения йода на Земле таким образом: в далёкие времена, ещё до геологической истории Земли, когда наша планета впервые покрывалась твёрдой корой, летучие пары различных веществ сплошными облаками окутывали ещё горящую Землю. Йод вместе с хлором выделился из глубины расплавленных магм нашей планеты; тогда же он был захвачен первыми морями осевших расплавленных паров Земли, и первые океаны, породившие моря, накопили в себе йод из атмосферы Земли.

Так это или не так, мы сейчас точно не знаем, но нам известно только одно, что и на земной поверхности его распределение полно загадок.

В арктических странах, на высоких горах йода сравнительно мало, в низинах, у морских берегов, количество йода увеличивается; оно ещё более возрастает в пустынях, а в обширных пустынях Южной Африки или Отакамы, в Южной или Центральной Америке мы встречаем настоящие минеральные соединения йода.

Точный анализ показал, что йод растворён в воздухе по строго определённому закону. Количество его падает с высотой. На высотах Памира и Альп (свыше 4000 метров) йода во много раз меньше, чем на уровне Москвы или Казани.

И вместе с тем йод известен нам не только на Земле. Мы находим его и в метеоритах, попадающих из неведомых пространств мироздания. Новыми методами ищут теперь йод в атмосферах Солнца и сверкающих звёзд.

Но на самой Земле открываются самые интересные картины из истории йода.

Он накапливается в морской воде, может быть действительно в остатках тех древних океанов, которые когда-то образовались из первых облаков водяных паров. В морской воде йода довольно много: на каждый литр приходится 2 миллиграмма, это уже чувствительная величина. Но вот морская вода сгущается у берегов в лиманах, в прибрежных озёрах. Там накапливаются белые соли, белой пеленой покрывают они плоские берега этих озёр, столь хорошо нами изученных на побережье Чёрного моря, в Крыму или в Средней Азии. Но йода в них больше нет, йод куда-то исчез: как будто бы он накапливается на дне в илах, но большая доля его испаряется, уходит в воздух, и всё же кое-что намечается в остаточных рассолах; там, где скапливаются соли калия и бром, йода почти не оказывается. Но вот на самых берегах соляных озёр и морей развивается растительность, образуются целые леса различных водорослей, которые покрывают прибрежные камни, и в них-то, оказывается, и накапливается йод в результате каких-то совершенно непонятных химических процессов, и на тонну водорослей приходится несколько килограммов чистого, замечательного элемента, а в некоторых морских губках количество йода ещё больше и достигает 8—10%.

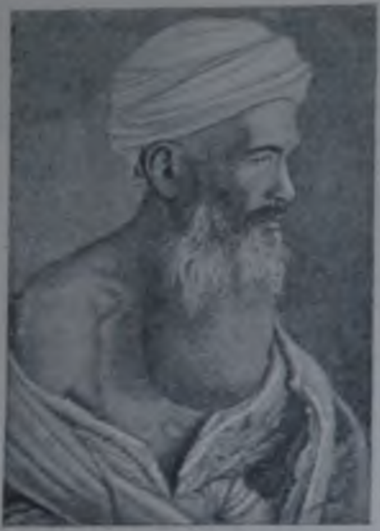


Рис. 82. Горная болезнь «зоб», вызванная недостатком йода в пище и воде.

Наши исследователи особенно хорошо изучили берега Тихого океана. На пространстве тысячи километров прибрежного района волны, особенно осенью, прибивают сюда огромное количество водорослей морской капусты. Эти бурые водоросли содержат сотни тысяч килограммов йода. Водоросли частью используют для пищи, частью осторожно сжигают и извлекают из них йод и поташ. Йодный завод перерабатывает такие водоросли на Белом море, довольно много извлекалось йода из больших полей водорослей Чёрного моря.

Но этим не заканчивается история йода в земной коре: его приносят нам и нефтяные воды; около Баку образуются целые озёра отбросовых вод, из которых сейчас извлекают йод; его выносят и некоторые вулканы из своих загадочных глубин.

Так разнообразны судьбы этого элемента в истории нашей Земли, и трудно из этих ярких и загадочных картинок создать себе полное и связное представление о жизни и скитаниях этого бесконечно странствующего атома природы.

Но вот йод попадает в руки человека, и здесь возникают новые загадки. Недаром мы лечим йодом, останавливаем кровь, убиваем бактерии, охраняем рану от заражений, а между тем йод исключительно ядовит, пары йода действуют на слизистые оболочки, вызывая в них раздражение. Избыток капель и кристалликов йода может быть смертельным для человека. И самое замечательное в этом вопросе заключается в том, что всё же ещё хуже для здоровья, когда йода мало. Организм человека, а вероятно, и ряда животных, должен иметь определённое количество йода. Человек начинает болеть, когда йода слишком мало, но он ещё скорее заболевает, когда йода слишком много. Мы знаем, что недостаток йода особенно сказывается в особой болезни, названной «зобом». Этой болезнью страдают обычно жители высокогорных местностей. Мы знаем широкое распространение зоба в некоторых аулах, расположенных в высоких горах Центрального Кавказа; очень хорошо она известна также и в Альпах. Но как только было применено лечение солями йода, больные целых деревень стали излечиваться.

В последнее время американские исследователи установили распространение зоба и на территории Америки. Оказалось, что можно сделать карты количества заболеваний зобом, а также карты содержания йода в воздухе. Эти карты совпадают. Человеческий организм исключительно чуток к йоду, и понижение его содержания в воздухе и в водах сейчас же отражается на здоровье.

Не менее загадочны те новые пути использования йода в промышленности, которые с каждым годом становятся всё шире и шире. С одной стороны, это особые органические вещества, которые, оказывается, создают непроницаемую броню для прохождения рентгеновских лучей. С другой стороны, вещество, впрыснутое в организм, позволяет снимать внутренние ткани особой чувствительности. Мы знаем и совсем другие области применения йода за последние годы.

Особенное значение придаётся использованию йода в целлулоиде, где применяются мелкие игольчатые кристаллики. Эти кристаллики распределяются строго закономерно. Колебания светового луча не могут проходить через них во всех направлениях. Получается то, что мы называем поляризационным лучом. Мы много лет строили особые, очень дорогие поляризационные микроскопы, а сейчас, благодаря этому новому прибору — поляроиду, — мелкие чистые лупы изготовляются в Москве и заменяют собой целый микроскоп. С ним можно работать во время экспедиций в поле. Сочетанием двух-трёх поляроидов можно добиться яркой окраски рисунка, и здесь перед нами вырисовывается возможность использования поляроидов для громадных декоративных панно в залах, кино, где вращением двух поляроидов будут достигаться самые замечательные световые эффекты, быстро меняющие цвета по всему спектру солнца. Когда поляроидная пластинка вставлена в окно вашего автомобиля, вас не будут ослеплять фары мчащейся навстречу машины, так как в поляроиде вы не увидите ярких ореолов горящих огней, а лишь самую машину с отдельной светящейся точкой.

Когда самолёт поднимается над затемнённым городом и сбрасывает вниз на парашюте сверкающие составы из магния, то поляроидные очки позволяют видеть всё, что делается на Земле под светящейся ракетой.

Вы видите, сколько замечательных и сложных применений этого элемента, сколько неясных проблем, сколько противоречий в его происхождении, в судьбе его странствований! Сколько ещё нужно глубоких исследований, чтобы разгадать все его свойства и понять природу этого вездесущего элемента, пронизывающего окружающий нас мир!

Интересно, что и история открытия этого элемента тоже полна жизненных противоречий. Он был открыт в золе растений в 1811 г. специалистом — фармацевтом Куртуа, — имевшим маленький завод, перерабатывающий золу растений. Открытие этого элемента не произвело особого впечатления на учёных мира, а сам Куртуа запутался в том коммерческом деле, которое он вёл. Его семья после трагической смерти самого Куртуа умерла в нищете. Только через сто лет в городе Дижоне, на его родине, было отпраздновано исключительно торжественно открытие йода, и именем Куртуа была названа улица, на которой он жил.

Я мог бы уже закончить свой рассказ об этом интересном элементе, но ещё одно обстоятельство привлекает наше внимание. В таблице Менделеева, ниже того места, где обозначен йод, в той же группе имеется пустая клетка. Её наметил ещё Д. И. Менделеев и сказал, что здесь должен быть открыт новый элемент. Он назвал его экайодом. Мы эту клетку называем клеткой 85, но она до настоящего времени так и осталась пустой. Где же встречается или где скрывается этот элемент № 85? Он не может не существовать, он где-то в мире должен быть открыт. Его долго искали в остаточных рассолах озёр и соляных месторождениях. Его искали в межпланетном пространстве, среди тех рассеянных атомов, которые наблюдаются в мироздании между звёздами и солнцами, планетами и кометами; его тщетно искали во всех природных металлах, но его не нашли. Много лет казалось учёным, что вот-вот блеснула где-то та линия, которая отвечает светящимся атомам, это № 85, но новые исследования не подтвердили этого открытия, и клетка № 85 осталась до наших дней пустой.

Что же представляет собой этот таинственный, неоткрытый атом? Вероятно, он продолжает загадочную историю йода, вероятно, он наделён ещё более таинственными свойствами, именно они не позволяют нам его открыть; может быть, он существует так недолго в мироздании, что самые точные приборы не могут его поймать в краткие доли секунды его жизни, может быть, он является обычно настолько сильно заряжённым атомом, что спокойно жить ему не суждено в нашем мире; но если № 85 будет открыт на Земле, то он представит ещё более замечательный элемент с ещё более сказочными свойствами, чем йод!

Над загадками йода и его товарища по таблице Менделеева стоит поработать учёным![1]

А. Сиротин

КАК БЫЛ ОТКРЫТ ЙОД И ОТКУДА ОН ДОБЫВАЕТСЯ

Как открыли йод. В годы наполеоновских войн во Франции был усиленный спрос на порох, изготовляемый из серы, угля и селитры.

Первоначально на порох шла индийская селитра, но она использовалась столь неумеренно, что природные запасы её были истощены. В Южной Америке были открыты между тем громадные залежи селитры несколько иного состава: индийская селитра была калиевой селитрой, в то время как чилийская — натриевая селитра. Порох, изготовленный из натриевой селитры, взрывает с таким же успехом, как и порох из калиевой селитры. Но он обладает неприятным свойством притягивать влагу из воздуха и отсыревать. Химики взялись «исправить» натриевую селитру, заменив в ней натрий калием. Калий содержится в большом количестве в золе морских водорослей. В 1809 г. один испанский химик нашёл способ превращать натриевую (чилийскую) селитру в пригодный для производства пороха материал, обрабатывая селитру золой морских водорослей.

---

[1] В настоящее время элемент 85 получен искусственно. *(Состав.)*

Парижский селитровар Куртуа, занявшись производством селитры по этому способу, заметил, как разъедаются медные котлы, в которых он выпаривал зольные растворы. Оказалось, что в золе водорослей есть какие-то соли, которые остаются в котлах после выпаривания растворов и выпадения из упаренных растворов соединения калия.

Когда на эти соли подействовали серной кислотой и двуокисью марганца, то заметили выделение из раствора красно-фиолетовых паров, при сгущении которых образовались чёрные блестящие кристаллы[1].

Куртуа в 1811 г. опубликовал в химических журналах, что найдено новое вещество, неизвестное до сих пор. Это новое вещество назвали йодом за цвет его красно-фиолетовых паров, так как по-гречески «йод» означает «похожий на фиалки».

Откуда и как получается йод. Оказалось, что йод очень распространённое вещество. В форме разных соединений он встречается в животных и растительных организмах; следы йода мы находим в различных минералах, в морской, речной и даже дождевой воде; в почве, в различных минеральных источниках.

Однако йод нигде не накопляется в мёртвой природе, и именно поэтому мы принуждены извлекать его из столь необыкновенного источника, как морские водоросли.

Для добычи одного грамма йода пришлось бы раздробить в пыль и переработать до 5 *т* гранита, до 3 *т* мрамора или выпарить до 50 *т* (около четырёх тысяч вёдер) морской воды. Йод из гранита, мрамора или морской воды обошёлся бы дороже золота.

В 50 *т* морской воды содержится 1 *г* йода, а в 50 *т* высушенной на воздухе водоросли ламинария (морская капуста) содержится 250 000 *г* йода. Таким образом, водоросли являются как бы живым заводом, который извлекает следы йода, имеющиеся в морской воде.

---

[1] В рассказах того времени утверждается, что открытие йода было делом «случая»: на заводе по выработке селитры погнались за кошкой, которая опрокинула банку с серной кислотой на остатки солей, и вдруг вследствие происшедшей реакции выделились фиолетовые пары йода. (*Состав.*)

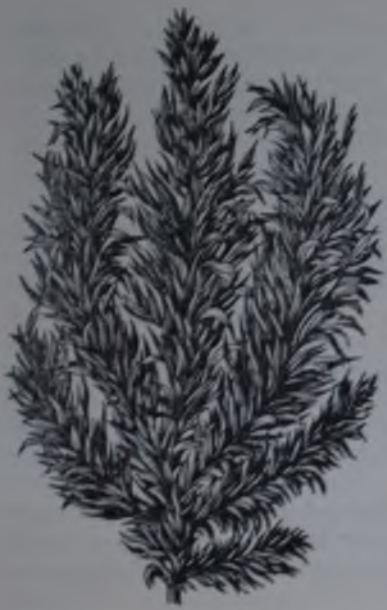


Рис. 83. Бурая водоросль.

Но, кроме того, очень много соединений йода содержится в той самой чилийской селитре, при обработке которой йод впервые был открыт.

В 1 *кг* селитры содержится до 5 *г* йодной соли, из которой можно добыть до 3,3 *г* чистого йода, т. е. более чем из любого другого природного материала.

Во всём мире добывают за год до 1000 *т* йода, и около 90% этого количества падает на йод из чилийской селитры. Остальные 10% йода добываются из водорослей[1].

Чилийские заводчики главную часть прибылей извлекают из селитры, а йод является для них побочным продуктом, добыча которого поставлена настолько несовершенно, что свыше 90% этого ценного продукта пропадает в селитряных отбросах.

Йодная соль, получающаяся как отброс при добыче селитры, обрабатывается бисульфитом натрия $NaHSO_3$, от действия которого соль йода распадается и выделяется свободный йод.

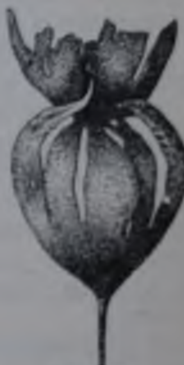


Рис. 84. Водоросль ламинария.

Такие огромные запасы йода, собранные в одном месте, как в залежах чилийской селитры, пока нигде ещё в других странах не найдены, поэтому многие государства, не желая быть в зависимости от чилийских йодных заводчиков, организуют добычу йода из водорослей (рис. 83 и 84).

В большом промышленном масштабе водоросли извлекаются из моря при помощи особых морских жнеек.

Кустарная добыча водорослей ведётся вручную, с маленьких лодок. Орудием ручного лова служит шест с вилами на конце (канза).

Вручную за 3—4 часа один ловец ловит около тонны сырой водоросли с содержанием до 90% влаги. За один час жнейкой при команде в шесть человек вылавливается до 50 *т* водоросли. Следовательно, при механизированном лове производительность труда ловца в тридцать раз выше, чем при кустарной добыче.

---

[1] Мировая продукция йода наибольшего подъёма достигла в 1929 г. и выразилась в 1700 *т*. В настоящее время общая мировая продукция йода выражается в 1000—1100 *т*. Монополия Чили на йод теперь постепенно снижается и доходит до 50—60% мировой продукции. *(Состав.)*

Добыча йода из водорослей может производиться разными способами.

Первый — самый простой, но и самый несовершенный способ — это сжигание водорослей в кучах на открытом воздухе.

Водоросли, выброшенные на берег штормом или выловленные из моря, сушатся на солнце. Такие воздушно-сухие водоросли складываются в большие кучи и сжигаются при малом доступе воздуха, чтобы сгорание было медленное, иначе при сильном ветре и быстром сгорании будут большие потери йода.

Иногда сжигание водорослей производят в ямах, сделанных в песке и выложенных внутри глиной.

Потери йода значительно уменьшаются, если сжигание водорослей ведётся в специальных печах.

Из 1000 *кг* золы обычно извлекают от 100 до 180 *кг* углекислого калия, идущего на удобрение полей как искусственное удобрение, и от 2 до 6 *кг* йода.

При сжигании водорослей на воздухе в кучах пропадает много ценных продуктов, которые удаётся извлечь, если применить более совершенные способы обработки водорослей — сухую перегонку водорослей в ретортах, обработку водорослей слабым раствором соды — так называемый мокрый способ — или обработку водорослей при помощи бактерий.

Сухая перегонка воздушно-сухих водорослей производится в особых ретортных печах, где обогрев ведётся снаружи; внутрь печи не проникает воздух, и, следовательно, при нагревании водоросли не сгорают (так как нет кислорода для сгорания), а разрушаются и распадаются на несколько веществ.

Мокрый содовый способ состоит в обработке водорослей слабым содовым раствором в течение 24 часов. За сутки водоросль полностью разрушается, и получается вязкая желатинообразная масса, которая фильтруется в нагретом состоянии.

В растворе остаются соли. Раствор упаривают, соли обжигают, а затем из них извлекают калийные соединения и йодные соли, идущие на получение чистого йода.

Некоторые заводы в Японии обрабатывают водоросли ферментным способом, который состоит в том, что водоросли, разложенные на водонепроницаемом полу, лежат в течение пяти дней. Потом в течение двух суток они подвергаются действию бактерий. Через особые краны в полу жидкость стекает в чаны, из этой жидкости извлекают потом йод и калийные соли, а твёрдый остаток сжигается, и его зола обрабатывается обычным способом.

Соли йода, полученные из водорослей одним из описанных выше способов, подвергаются химической обработке или хлором, или серной кислотой с двуокисью марганца. Йод, полученный из соли, содержит некоторые количества нежелательных примесей, в том числе и следы хлора; эти примеси удаляются при очистке йода-сырца. Очистка ведётся следующим способом: к загрязнённому йоду прибавляют немного йодистого калия и всю смесь подогревают.

При нагревании йод сублимируется, т. е., не расплавляясь, переходит прямо в парообразное состояние. Пары чистого йода сгущаются (конденсируются) не жидкими капельками, а твёрдыми кристаллами. Такой очищенный йод поступает в продажу.

Водоросли — это настоящий клад для химиков; последние находят всё новые и новые пути использования этого высокоценного природного сырья.

Как развивается добыча йода в СССР. Царское правительство развивало химическую промышленность только по части винокурения. Лекарства, анилиновые краски и другие химические продукты покупались за границей. Во время первой мировой войны зависимость от заграницы России сказалась во весь рост. Армия оказалась разутой и раздетой, без снарядов и оружия, переполненные лазареты — без йода. Профессора Писаржевский и Аверкиев пытались наладить производство йода из черноморских водорослей, растущих в районе Одессы. В Днепропетровске построили опытный завод, на котором за два года войны (1915—1916) добыли одну тонну йода из золы черноморских водорослей, по себестоимости 95 рублей за килограмм.

В 1916 г. был построен завод на Белом море, в Архангельске, где йод добывали по цене более низкой, чем в Днепропетровске, но в количестве тоже очень небольшом.

Были попытки добыть йод из водорослей дальневосточных морей, но завод во Владивостоке сделал за годы войны так же мало, как и заводы на юге и на севере. Пришла революция, и годы гражданской войны отвлекли все силы Советского государства на фронт. За время с 1920 по 1923 г. было добыто йода на архангельском заводе всего 133 *кг*, в 1920 г. — 8 *кг*, в 1921 г. — 30 *кг*, в 1922 г. — 32 *кг* и в 1923 г. — 63 *кг*.

И сбор водорослей, и добыча йода из водорослевой золы в Архангельском районе были поставлены кустарным способом. В 1924 г. организовалась Беломорская йодная артель, которая немного увеличила добычу йода, доведя её в 1925 г. до 225 *кг*, а в 1926 г. до 300 *кг*. В настоящее время добыча йода на Белом море сильно выросла.

С 1926 г. начинаются научные изыскания в Дальневосточном крае. В 1928 г. были определены примерные площади водорослевых районов по берегу от Владивостока до Советской гавани (на северо-восток) на протяжении свыше 1000 *км*. В этом районе растёт водоросль ламинария, называемая морской капустой.

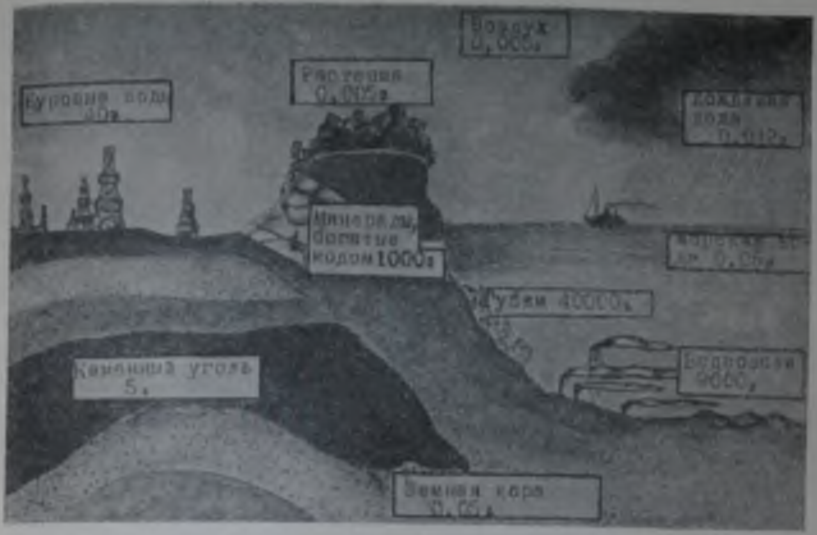

Воздух 0,000 г
Растения 0,005 г
Буровые воды 30 г
Дождевая вода 0,012 г
Минералы, богатые иодом 1000 г
Морская вода 0,05 г
Губки 40000 г
Водоросли 9000 г
Каменный уголь 5 г
Земная кора 0,05 г

Рис. 85. Распространение йода в природе.

Площадь, обследованная экспедицией в 1928 г., равна примерно 5000 *га.*

Однако у нас имеются и другие возможности выработки йода.

Химико-фармацевтическим институтом в Москве разработан способ добычи йода не из водорослей, а из буровых нефтяных вод. Йод содержится в последних в малом количестве, и вся трудность заключается в том, чтобы его оттуда выловить. Существует, однако, одна очень заманчивая химическая «приманка» для йода — крахмал. Йод вступает с последним в прочное химическое соединение чёрно-синего цвета. В виде этого соединения йод и извлекается из нефтяных вод; последующее разделение йода и крахмала уже не составляет труда. Кроме крахмала, для извлечения йода из его природных растворов может быть применён активированный уголь, который поглощает йод, и керосин, растворяющий йод.

Водами буровых скважин ежегодно выносится до 400 *т* йода и добывать йод из этого надёжного источника очень целесообразно.

Йодсодержащие воды обнаружены также в районе Архангельска. Они отличаются от бакинских тем, что содержат йода в три раза больше.

Йодсодержащие воды имеются и на Дальнем Востоке, в районе Посьета.

Йодистыми солями богаты соляные озёра и источники Аральского озера, Баскунчак и многочисленные соляные озёра Крыма и Кавказа. К сожалению, присутствие громадного количества посторонних солей создаёт пока большие трудности для добычи йода из этого неисчерпаемого источника[1].

(«Йод и его добыча», 1931 г.)

К. Я. Парменов

ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ БРОМА

Больному с расшатавшейся нервной системой, страдающему, например, бессонницей, как одним из проявлений этой болезни, в качестве лекарства врачи нередко прописывают «бром». Печальны были бы, однако, последствия для того больного, который вздумал бы принять в качестве лекарства настоящий бром — тяжёлую темнокрасную жидкость, дающую бурые пары, разъедающие слизистые оболочки глаз, с очень противным удушающим запахом. За этот-то запах бром и получил своё название от греческого слова *бромос* — зловонный.

Если бы жидкий бром попал не на нежные слизистые оболочки, а даже на наружные покровы тела, то получились бы сильные ожоги и долго не заживающие раны. Бром — очень ядовитое вещество. Поэтому на самом деле ещё ни один врач не прописал ни одному больному в качестве успокоительного средства чистый бром. То, что в быту называется неправильно бромом, на самом деле есть раствор одной из его солей — бромистого калия KBr, да и то в ничтожной концентрации.

С соединениями брома очень хорошо знакомы и фотографы: без бромосеребряных пластинок или плёнок и бромосеребряной бумаги вряд ли теперь может обойтись хотя один фотограф, будь то профессионал или любитель. Светочувствительные пластинки, плёнки и бумага приготовляются путём покрытия их в темноте раствором бромистого серебра в желатине. Фотопластинки подвергаются в фотокамере на малую долю секунды действию лучей света, вследствие чего происходит разложение бромистого серебра и выделение мельчайших зёрен металлического серебра, пропорционально силе света.

Таким образом, мы нередко встречаемся с соединениями брома в обыдённой жизни. Но бром ещё сравнительно «молодой» элемент: с тех пор, как он стал известен человечеству, прошло немногим более 100 лет. История его открытия очень интересна прежде всего тем, что ярко показывает, насколько «назрели» некоторые открытия, насколько они «носились в воздухе»: бром был открыт почти одновременно, после хлора и йода, сразу тремя химиками.

---

[1] В настоящее время СССР занимает второе после Чили место в мире по добыче йода. *(Состав.)*

В 1825 г. в химическую лабораторию г. Гейдельберга (Германия) поступил новый студент Карл Лёвиг. Он сразу же заинтересовал своего учителя профессора Леопольда Гмелина привезённой из дома какой-то странной жидкостью. Лёвиг получил эту жидкость следующим путём: он пропустил хлор в раствор, который оставался после кристаллизации солей из одного источника на его родине. Образовавшееся вещество он извлёк эфиром, а затем отогнал эфир. В результате он получил какую-то тяжёлую темнокрасную жидкость с весьма неприятным запахом. Проф. Гмелин предложил Лёвигу получить этой жидкости несколько большее количество и подробно изучить её свойства. Лёвиг с усердием принялся за работу, как вдруг... в 1826 г. в одном из парижских научных журналов появилась статья химика Баларда об открытии им нового вещества со свойствами, настолько сходными с теми, которыми обладала темнокрасная жидкость Лёвига, что не оставалось никакого сомнения в том, что французский химик опередил Лёвига.

Балард сделал своё открытие, будучи совсем молодым человеком. Он занимал скромную преподавательскую должность в колледже г. Монпелье, где и учился раньше сам. Изучая флору соляных болот, Балард заметил осадок каких-то солей, выкристаллизовавшихся из маточных растворов после добычи из них обыкновенной соли. Он начал испытывать этот осадок, применил большое число различных реактивов, проделал много самых разнообразных опытов. При этом от его внимания не могло ускользнуть одно обстоятельство: всякий раз, когда он пропускал через раствор остаточных солей хлор, этот раствор становился красно-бурым. Балард ещё ближе стал к открытию, когда заметил, что полученный из золы водоросли Fucus щёлок при обработке его хлорной водой с крахмалом проявлял необыкновенные свойства: после некоторого времени в жидкости появлялись два слоя: один (нижний) — синий, а другой (верхний) — интенсивно жёлтого цвета.

Перед двадцатитрёхлетним химиком встала трудная задача объяснить это явление. Он правильно заключил, что нижний слой содержал йод, и что синяя окраска вызвана соединением йода с крахмалом. Но что же заключалось в верхнем слое? Балард высказал два предположения: в верхнем слое имеется или соединение йода с хлором, или новый, ещё неизвестный элемент.

Ему показалось более вероятной первая гипотеза. Он начал искать способы разложения этого предполагаемого вещества на йод и хлор, проделал множество экспериментов, но так ничего и не добился. Тогда ему ничего не оставалось сделать, как признать, что верхний слой содержал новый, ещё никому неизвестный элемент. История показала, что Балард был прав, сделав это смелое заключение.

Юстус Либих *(1803—1873).*

В письме химика Дюлонга к Берцелиусу, написанном 1 июля 1826 г., имеются любопытные строки, относящиеся к этому открытию:

«Здесь есть свежая новость. Это новое простое вещество, которое должно найти место между хлором и йодом. Автор этого открытия Балард из Монпелье. Это новое вещество, которое он назвал муридом, находится в морской воде. Он извлёк его из маточных рассолов Монпелье путём насыщения хлором и отгонки. Он получил темнокрасное жидкое вещество, кипящее при 47°. Пары похожи на образуемые азотной кислотой. Его удельный вес 3[1]. Сохраняется оно под серной кислотой. Оно соединяется с металлами, даёт нейтральные соединения, несколько летучих соединений, замечательное соединение «muride potassium»[2].

30 ноября 1825 г. Балард по совету своих учителей Ангада и Этьена Бернара послал в Парижскую академию наук сообщение о своём открытии. В июле 1826 г. оно было заслушано в Академии и затем напечатано.

Специальная комиссия в составе знаменитых химиков Вокелена, Тенара и Гей-Люссака повторила все опыты Баларда и признала правильность его выводов. По предложению комиссии, название для элемента (мурид), первоначально данное Балардом, было изменено на бром (по его резкому запаху).

Впоследствии Балард ещё более тщательно изучил свойства брома. Он нашёл, что бром можно получить, как и хлор, из его солей при взаимодействии с серной кислотой и двуокисью марганца. «Точь-в-точь как ртуть есть единственный металл, — говорит Балард, — который имеет жидкое состояние при обыкновенной температуре, бром есть единственный жидкий неметалл».

Балард вырвал открытие брома не у одного К. Лёвига, тогда ещё никому неизвестного студента. На грани нового открытия стоял крупнейший химик Ю. Либих. Но досталось оно всё же в руки Баларду. Вот как это случилось.

---

[1] По современным определениям температура кипения брома 59°, а удельный вес 3,187.

[2] Бромистый калий.

Ещё за несколько лет до того, как Балард принялся за свои исследования, одна германская фирма прислала Либиху бутыль с какой-то темнокрасной жидкостью и просила его определить её содержание. Либих не занялся детальным исследованием этой жидкости, а сделал поспешное заключение, что она является соединением хлора с йодом. Только после опубликования Балардом статьи об открытии брома Либих догадался, какой огромный промах он допустил. Как это случилось, что у него, общепризнанного светила химической науки, вырвал уже почти готовый результат и кто же? — Никому неизвестный юноша из Монпелье. «Не Балард открыл бром, а бром открыл Баларда», — произнёс с досадой Либих, узнав о новом открытии. И уже много лет спустя Либих чистосердечно описывает, как произошло это событие, и какой урок он извлёк из него:

«Не может быть большего несчастья для химика, как то, когда он сам не способен освободиться от предвзятых идей, а старается дать всем явлениям, не сходящимся с этим представлением, объяснения, не основанные на опыте... Я знаю химика, который много лет назад предпринял исследование маточных растворов в Крейцнау. Он открыл в них йод и далее наблюдал, что, простояв ночь, цвет (синий) йодистого крахмала перешёл в жёлтый. Это явление поразило его; он добыл большое количество рассола, насытил его хлором и получил при перегонке в значительном выходе жидкость, окрашивающую крахмал в жёлтый цвет и обладающую внешними свойствами хлористого йода, хотя она отличалась от последнего в некоторых химических реакциях. Но он объяснил это различие удовлетворительно для себя самого — он создал теорию. Несколько месяцев спустя он получил статью Баларда, и в тот же день он был в состоянии опубликовать серию опытов, касающихся реакций брома с железом, платиной и углеродом, ибо бром Баларда стоял в его лаборатории с этикеткой «жидкий хлор-йод». С тех пор он не высказывает никаких теорий, если они не поддержаны и не подтверждены несомненными опытами».

Дальнейшие исследования Либиха привели его к заключению, что бром действительно является новым элементом.

До открытия Стассфурских соляных залежей главным источником для получения брома и его соединений были рассолы, остающиеся после производства йода и используемые по методу Баларда. Открытие фотографии дало очень большой толчок производству соединений брома. С 1858 г. центр бромной промышленности с морских берегов переместился в Стассфурт.

В СССР большое количество брома добывается из вод Сакского озера близ Евпатории, в Крыму.

К. Я. Парменов

ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ ФТОРА

История открытия фтора полна трагизма. Никогда ещё при попытках открытия новых элементов не было принесено столько жертв, как при экспериментах, имевших целью выделить свободный фтор. История эта в общих чертах складывается следующим образом.

В 1670 г. Шванквард в Нюрнберге заметил, что если взять какой-нибудь сосуд из плавикового шпата с серной кислотой и покрыть его стеклянной пластинкой, то последняя будет разъедаться выделяющимися газами.

В 1768 г. Марграфом была описана фтористоводородная кислота, которая затем в 1771 г. была изучена Шееле. А. Ампер, узнав в 1810 г. о работах Дэви и о том, что он склонен считать хлор элементом, высказал предположение, что в плавиковой кислоте должен существовать элемент, аналогичный по своим свойствам хлору, и что сама плавиковая кислота есть соединение водорода с особым элементом «флюором». Дэви вполне согласился с этим взглядом. Латинское название «fluor» было произведено от латинского слова «fluere», «fluo» — течь. Причиною этого названия было то обстоятельство, что плавиковая кислота получалась из минерала, известного ещё в 1529 г. Агриколе под названием fluor lapis (флюорит — плавиковый шпат — CaF_2). В древней металлургии этот минерал долго употреблялся в виде плавня (флюса), так как при его прибавке к шихте точка плавления руд понижается.

Название «фтор» введено около 1816 г. Ампером, когда он ближе познакомился со свойствами плавиковой кислоты. Это слово происходит от греческого *фторос* — разрушающий. Однако это название было принято только русскими химиками, а у всех других народов сохранилось название «флюор».

Многочисленные попытки изоляции фтора оставались долгое время безрезультатными вследствие сильной активности элемента, вступавшего в момент его выделения в соединение со стенками сосуда, водой и т. д.

Попытки получить свободный фтор окислением плавиковой кислоты не только оканчивались неудачей, но привели вследствие сильной ядовитости фтористого водорода к нескольким жертвам.

Два члена Ирландской Академии наук братья Георг Нокс и Томас Нокс были первыми жертвами фтора. Они сделали довольно остроумный аппарат из плавикового шпата, но не могли получить свободный фтор. Томас Нокс скоро скончался в результате отравления, а его брат Георг потерял трудоспособность и принуждён был три года лечиться и отдыхать в Неаполе. Следующей жертвой был химик П. Лайет из Брюсселя, который, зная о последствиях опытов братьев Нокс, однако самоотверженно продолжал их и также поплатился жизнью. Известный химик Джером Никлес из Нанси также принял мученическую смерть. Гей-Люссак и Тенар значительно пострадали от действия на лёгкие небольшого количества фтористого водорода. Испытываемое Г. Дэви болезненное состояние после 1814 г. также приписывается отравлению фтористым водородом.

Анри Муассан *(1852—1907)*.

Попытка изолировать фтор была предпринята французским учёным Эдмондом Фреми (Edmond Fremy, 1814—1894), учителем А. Муассана. Он приготовил безводную плавиковую кислоту и хотел электролизом получить фтор, но газ на аноде не выделился по причине его сильной активности.

В 1869 г. английскому электрохимику Георгу Гору удалось получить немного свободного фтора, но он мгновенно соединялся с водородом (со взрывом). Этот учёный испробовал десятки электродов для анода (из угля, платины, палладия, золота и т. п.), но мог лишь установить, что все они разрушаются от фтора. Вместе с тем он пришёл к выводу о необходимости понижения температуры электролизёра, чтобы ослабить активность фтора. Все эти попытки не пропали даром и были учтены при последующих систематических опытах Анри Муассана (1852—1907), известного французского химика конца XIX и начала XX столетий.

Муассан построил U-образный электролизёр сначала из платины, но позднее выяснилось, что его можно делать и из меди, так как последняя покрывается тонким слоем фтористой меди, препятствующей дальнейшему воздействию фтора. В качестве электролита была взята безводная плавиковая кислота. Но так как это вещество в безводном состоянии не проводит электричества, к нему было прибавлено небольшое количество бифторида калия (KHF_2). С целью получения жидкого фтористого водорода и для уменьшения активности фтора весь аппарат погружался в охладительную смесь с хлористым этилом[1], кипящим при

---

[1] Органическое вещество, получаемое действием хлористого водорода на винный спирт. — C_2H_5Cl.

2°. Этим путём было достигнуто охлаждение аппарата до —23°. Электроды были сделаны из платины или иридистой платины и изолировались пробками из плавикового шпата, который не мог реагировать с выделяющимся фтором.

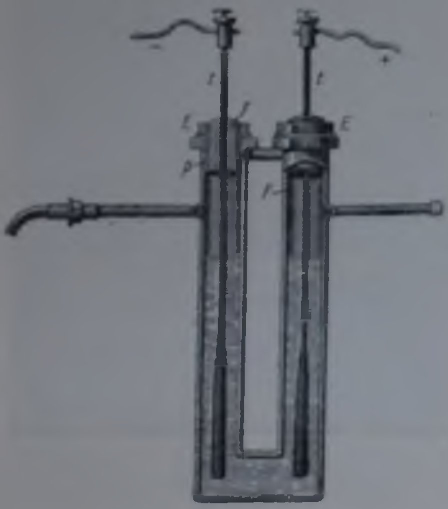


Рис. 86. Аппарат Муассана для получения фтора

Для собирания фтора навинчивались другие медные трубки.

В этом приборе 26 июня 1886 г. и был впервые получен фтор. Два дня спустя Муассан известил об открытии Парижскую академию наук.

> «Можно было сделать различные предположения о природе выделившегося газа, — писал Муассан в этом заявлении. — Проще всего было бы предположить, что мы имеем дело со фтором, но было бы так же, конечно, возможно, что это полифтористый водород или даже смеси фтористоводородной кислоты и озона, достаточно активная для того, чтобы объяснить то энергичное действие, которое оказывает этот газ на кристалическую кремне-кислоту».

Заявление Муассана было принято в Академии, и по её определению был назначен специальный комитет в составе учёных Дебрэя, Бертело и Фреми для проверки открытия. Во время проверки аппарат Муассана «закапризничал», и экспериментатор не мог получить даже и пузырька фтора.

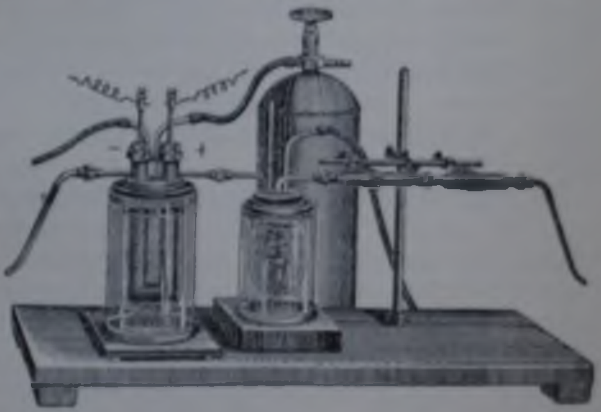


Рис. 87. Общая установка для получения фтора

Сохранился рассказ известного французского химика Ле-Шателье о том, как впервые Муассан производил в Парижской академии наук опыты по выделению фтора.

«Получив небольшой уголок для занятий в лаборатории Фриделя в Новой Сорбонне (в Парижском университете), Муассан спустя некоторое время заявил об успешном завершении опытов по получению элементарного фтора. Фридель не замедлил сделать об этом сообщение в Академию наук. Была создана специальная комиссия для ознакомления с работами Муассана, которая и собралась в определённый день для этой цели. Муассан приступил к опыту, но... к великому его огорчению опыт не удался: фтор получен не был.

Когда комиссия удалилась, Муассан со своим ассистентом начал тщательно анализировать весь ход своих работ и искать причину неудачи опыта. В итоге они пришли к выводу, что этой причиной послужила, как это казалось бы ни странным, слишком чисто вымытая посуда, почему не осталось и следов фтористого калия. Достаточно было Муассану прибавить в прибор к жидкому фтористому водороду немного фтористого калия и пропустить электрический ток, как немедленно получился свободный фтор.

На другой день Муассан получил уже вполне достаточное количество газа, чтобы убедить комитет в действительности своего открытия. Учитель Муассана Фреми тепло поздравил Муассана и сказал ему: «Учитель всегда счастлив, когда он видит, что его ученики продвигаются дальше и выше, чем он сам».

В 1925 г. более простой способ получения фтора предложили Лебо и Дамьен. Электролитом здесь является бифторид калия — KHF_2, плавящийся при 56°. Сосуд для электролиза делается из меди, или никеля, а электроды из разных металлов: катод — из меди, а анод — из никеля. Электролиз производится при температуре плавления бифторида. В несколько видоизменённом виде этот способ употребляется и в настоящее время.

Н. В. Надененко

ХИМИЯ ФТОРА

Свободный фтор представляет собой зеленовато-жёлтый газ с характерным неприятным запахом. Его плотность (по воздуху) 1,13, т. кип. —187°, т. пл. —219°. Атомный вес фтора равен 19,00. Во всех своих соединениях фтор одновалентен. Атомы фтора соединяются между собой в молекулы, состоящие из двух атомов.

Фтор образует соединения, прямо или косвенно, со всеми другими элементами, за исключением инертных газов.

С водородом фтор соединяется даже при —252°. При этой температуре водород превращается в жидкость, а фтор затвердевает, и всё же реакция протекает с таким сильным выделением тепла, что происходит взрыв. Долгое время не было известно соединение фтора с кислородом, но в 1927 г. французским химикам Лебо и Дамьену удалось получить фтористый кислород, образующийся при действии фтора на слабый раствор щёлочи:

$$2F_2 + 2NaOH = 2NaF + OF_2 + H_2O.$$

С азотом фтор непосредственно не соединяется, но косвенным путём известному специалисту по фтору Отто Руффу удалось получить в 1928 г. фтористый азот состава NF_3. Известны и другие азотистые соединения фтора. Сера при действии фтора при доступе воздуха воспламеняется. Древесный уголь загорается в атмосфере при обыкновенной температуре.

Все металлы при тех или иных условиях взаимодействуют с фтором. Щелочные металлы воспламеняются в атмосфере фтора уже при комнатной температуре. Серебро и золото на холоде взаимодействуют с фтором очень медленно, при накаливании сгорают во фторе. Платина при обыкновенных условиях не реагирует с фтором, но сгорает в нём при нагревании до 500—600°.

Из соединений других галогенов с металлами фтор вытесняет свободные галогены, становясь на их место. Кислород также легко вытесняется фтором из большинства кислородных соединений. Так, например, воду фтор разлагает с выделением кислорода[1]:

$$2H_2O + 2F_2 = 2H_2F_2 + 2O.$$

Соединяясь с водородом, фтор образует газообразное соединение — фтористый водород H_2F_2. Водные растворы фтористого водорода называются плавиковой кислотой. Газообразный H_2F_2 — бесцветный газ с едким запахом, очень вредно действующий на дыхательные органы и слизистые оболочки.

Обычный способ его получения — действие серной кислоты на плавиковый шпат — CaF_2. Выделяется фтористый водород и остаётся гипс:

$$CaF_2 + H_2SO_4 = CaSO_4 + H_2F_2.$$

Для молекул фтористого водорода характерна способность к ассоциации (соединению) нескольких молекул в одну. При температуре около 90° получается простая молекула HF с молекулярным весом 20,008, но при понижении температуры уже до 32° измерения приводят к удвоенной формуле H_2F_2. При температуре кипения фтористого водорода, равной 19,4°, появляются молекулы H_3F_3 и H_4F_4. При более низких температурах состав молекул фтористого водорода ещё более усложняется.

Плавиковая кислота действует на все металлы, за исключением золота и платины. На медь и серебро плавиковая кислота действует очень медленно. Слабые растворы её совершенно не действуют на олово, медь и бронзу.

Устойчивым к плавиковой кислоте является свинец, который покрывается слоем фтористого свинца, предохраняющим металл от дальнейшего разрушения. Поэтому свинец и служит материалом для аппаратуры в производстве плавиковой кислоты.

---

[1] Кислород обычно получается в виде озона. *(Состав.)*

Склонность молекул HF к ассоциации приводит к тому, что, кроме средних солей фтористоводородной кислоты, известны и кислые, например, KHF_2, $NaHF_2$. В этом заключается её отличие от других галоидоводородных кислот, дающих только средние соли.

Характерной особенностью плавиковой кислоты, отличающей её от всех других кислот, является чрезвычайно лёгкое действие её на кремнезём SiO_2 и соли кремниевой кислоты:

$$SiO_2 + 2H_2F_2 = SiF_4 + 2H_2O.$$

Четырёхфтористый кремний SiF_4 — газ, улетучивающийся при реакции.

Действуя на кремнезём, входящий в состав стекла, плавиковая кислота разъедает стекло, поэтому хранить её в стеклянных сосудах нельзя.

Из органических веществ плавиковая кислота действует на бумагу, дерево, пробку, обугливая их; на целлулоид действует лишь очень медленно; совершенно не действует на парафин, чем и пользуются при хранении плавиковой кислоты в сосудах, сделанных из этого материала.

Фтор довольно распространён в природе. Процентное содержание его в земной коре приближается к содержанию таких элементов, как азот, сера, хром, марганец и фосфор. Промышленное значение имеют, однако, только два фтористых минерала — плавиковый шпат и криолит. Кроме того, фтор входит в сравнительно небольшом количестве в состав апатитов. При переработке природных фосфатов на искусственные удобрения в качестве побочных продуктов получаются фтористые соединения.

Плавиковый шпат, называемый иначе флюоритом, или плавиком, является по своему составу фтористым кальцием — CaF_2. В природе плавиковый шпат может встречаться как в виде отдельных кристаллов, так и в сплошных массах. Образование месторождений плавикового шпата геологи объясняют следующим образом. При остывании некогда жидкой массы земной коры образовались внутри неё трещины и пустоты. Когда в такие пустоты, возникшие внутри пород, содержащих в своём составе кальций, проникали растворы или вулканические газы, содержащие фтор, происходило взаимодействие между кальцием породы и фтором раствора или газа. В результате такого взаимодействия пустоты заполнялись массой фтористого кальция. Таково происхождение жил плавикового шпата.

Замечательно разнообразие окраски плавикового шпата; он может быть совершенно бесцветным — прозрачным, белым, розовым, голубым, зелёным, красным, фиолетовым. Наиболее часто встречающиеся окраски его — зелёная и фиолетовая.

Мощные залежи плавикового шпата находятся в США: в штатах Иллинойс, Кентукки, Колорадо.

В СССР главнейшие месторождения плавикового шпата сосредоточены в Забайкалье и Средней Азии...

Элементарный фтор в настоящее время нашёл себе пока единственное применение в деле обеззараживания питьевой воды. Но, в отличие от своего аналога хлора, который служит для той же цели непосредственно, фтор используется здесь косвенным путём. Действием фтора на воду получают озон, который и применяется для стерилизации питьевой воды.

Новые дешёвые способы получения фтора позволяют надеяться, что область его применения будет значительно расширена.

Плавиковый шпат, служащий сырьём для получения плавиковой кислоты и её солей, имеет большое самостоятельное значение. Главное количество его (около 80%) потребляется металлургией. В металлургии чугуна и стали плавиковый шпат употребляется в качестве плавня, т. е. вещества, придающего различным рудным примесям легкоплавкость, вследствие чего они расплавляются, всплывают над жидким металлом в виде шлака и могут быть легко отделены.

Более всего CaF_2 потребляется в металлургии стали, меньшее количество — в доменных процессах. Также сравнительно в небольших количествах он употребляется при плавке медных, цинковых, серебряных и свинцовых руд.

Криолит естественный и искусственный в больших количествах потребляется алюминиевой промышленностью.

Получение металлического магния также связано с применением фтористых солей.

Получение третьего лёгкого металла — бериллия, приобретающего за последнее время большое значение, также требует применения фторидов.

Способность плавиковой кислоты реагировать с кремнезёмом используется для различных целей. Общеизвестно применение плавиковой кислоты для травления стекла. Чистая плавиковая кислота служит для прозрачного травления, а в смеси с фтористым аммонием — для матового травления.

В случаях, где требуется очистка от следов кремнезёма, применяется плавиковая кислота. Так, её применяют для очистки графита. Антисептические свойства плавиковой кислоты находят большое применение в производстве спирта. Раствор, содержащий 10 *г* 30-процентной плавиковой кислоты в 100 *л* воды, уничтожает бактерии, вызывающие уксуснокислое, маслянокислое и другие подобные брожения, не препятствуя в то же время спиртовому брожению.

Фтористый натрий в больших количествах применяется для консервирования дерева, в частности — для пропитки телеграфных столбов, железнодорожных шпал. NaF предохраняет древесину от поражения её грибком. Он употребляется или самостоятельно, или в смеси с другими антисептиками. NaF увеличивает длительность службы железнодорожных шпал в среднем в 10 раз. Для пропитки шпал идёт меньшее количество NaF, чем других употребляемых для той же цели антисептиков: хлористого цинка и креозота. Так как древесина легче разъедается кислотами, чем щелочами, NaF, дающий щелочную реакцию, не так разъедает дерево, как обладающий кислыми свойствами хлористый цинк.

Кремнефтористый натрий Na_2SiF_6 имеет большое применение в качестве инсектисида — вещества, употребляемого для борьбы с вредителями в сельском хозяйстве.

(*«Фтор и его соединения»*, 1935 г.)

ГЛАВА VI

СЕРА

> *«Российская Советская Республика находится постольку в выгодных условиях, что она располагает — даже после Брестского мира — гигантскими запасами руды (на Урале), топлива в Западной Сибири (каменный уголь), на Кавказе и на Юго-Востоке (нефть), в центре (торф), гигантскими запасами леса, водных сил, сырья для химической промышленности (Карабугаз) и т. д. Разработка этих естественных богатств приёмами новейшей техники даст основу невиданного прогресса производительных сил».*
>
> (Ленин, Соч., т. XXII, стр. 453.)

М. Зуев-Ордынец

СЕРА В КАРА-КУМАХ

I

Поздней осенью 1926 г. прямо из столицы Туркмении — Ашхабада вышел большой караван — в двадцать верблюдов и три лошади. Это была вторая специальная серная кара-кумская экспедиция, возглавляемая профессором Д. И. Щербаковым.

Экспедиция знала, что в центре Чёрной Пустыни имеются огромные запасы серы. Не только серы! В том же районе Серных бугров оказались прекрасные известняки, годные для обжигания на известь. Здесь же были скопления квасцов и белоснежного каолина, фарфоровой земли, мыльного камня, идущего для приготовления фарфоровых и огнеупорных изделий. Твёрдые кварциты, содержащие серу, давали строительный материал, а красные, почвы такыров — глину для кирпичей. Недра пустыни открывали всё новые и новые богатства.

Бугры, под серными залежами, как бы кольцом опоясывались редким металлом стронцием, необходимым для очистки сахара, а в песках, покрывающих серу, были открыты огромные скопления серной кислоты. В солончаках-шораэ, под серым и вязким песком, росли острыми кристаллами гипсы, в том числе знаменитые «репетекские гипсы», из которых туркмены изготовляют свои великолепные «дер-даш» — точила для ножей для расчёсывания шерсти и выравнивания кожи. И, наконец, были большие надежды на нахождение здесь выходов нефти, ибо изменённые нефтяные продукты часто встречались в залежах серных месторождений... Пустыня оказалась не бесплодной — она хранила сокровища.

Геологи экспедиции, в итоге усиленных и тяжёлых работ, после разведок различных бугров, исследования колодцев, изучения топливного и транспортного вопроса, остановили свой выбор на бугре Зеагли. Причины были следующие:

Группа Зеагли расположена ближе других к Ашхабаду на один дневной переход. Здесь достаточные запасы руды (одно из первых мест) и руда хорошего качества (третье место). Руду здесь можно добывать открытыми работами, так как на Зеагли она залегает почти на самой поверхности, в песке и песчанике, то распределяясь более или менее равномерно в них, то образуя редкой чистоты яркожёлтые, сверкающие скопления почти чистой серы.

Кроме того, серный завод будет обеспечен дешёвым топливом, «зелёным углем». Заросли белого саксаула, «аксазака», в районе Зеагли значительны и мощны: не редкость деревья в 4 метра высоты.

Вопрос с водой как технической, так и питьевой также разрешался вполне благополучно.

Намечались в районе Зеагли и хорошие транспортные условия. Каждый из окрестных аулов мог свободно предоставить от 100 до 200 вьючных верблюдов. А в районе Зеагли насчитывалось несколько десятков аулов. Это количество на первое время, до приобретения собственного транспорта, вполне обеспечивало будущее строительство.

И, наконец, район этот был богат строительными материалами Такырные красные глины давали великолепный материал для обжига кирпичей, более глубокие горизонты коренных пород, состоящие из известняков, давали хорошую известь, а сам белый песчаник серной залежи прекрасно обтачивался и мог служить для построек. Не было только строительного леса, но он мог быть заменён толстыми стволами саксаула и сезена.

Второй кара-кумской серной экспедицией была удачно разрешена проблема дешёвой и лёгкой выплавки серы из руды. Обычные способы плавки: калькароны, камерные печи Жилля, плавильные печи Дюрана и Гирцеля, выплавка паром — здесь неприменимы вследствие особого состава кара-кумской руды. Обычно в состав серных руд входят мергеля, гипсы или глины, а кара-кумская руда состоит из мелкого кварцевого песка, сцементированного серой, который при всех известных способах плавки, смешиваясь с серой, засорял бы её.

Серьёзно и долго обсуждали вопрос о применении подземной плавки серы по способу Фраша. Но в условиях Кара-Кумов этот способ оказался неприменимым, так как Серные бугры были совсем иного строения, чем техасские и луизианские. Представляя собой так называемые «останцы» размытой водами доисторического Арало-Каспийского моря сплошной плоской поверхности, кара-кумские Серные бугры прикрыты сверху и с боков песком и галечником, через которые нагнетаемая вода просачивалась бы наружу, не прогревая руду. И потому для способа Фраша потребовалось бы дорогостоящее искусственное закрепление (например, бетонирование) поверхностных, прикрывающих руду пластов.

Тогда участник экспедиции инженер-химик П. А. Волков предложил свой оригинальный, автоклавный способ плавки серной руды.

В котёл-автоклав, работающий под большим давлением, закладывается дроблёная руда, наливается вода, закрываются герметически люки и пропускается из парового котла пар под давлением 5—6 атмосфер. Температура в автоклаве поднимается до 130° (точка плавления серы —116°), сера расплавляется, и в образовавшейся жидкой массе, беспрерывно взбалтываемой паром, песок, по принципу флотации, всплывает наверх, а сера, несмотря на меньший удельный вес, собирается в нижней части котла в однородную массу. Затем открывается кран, и сера ровной струёй, как горячая вода из самовара, течёт в специальные формы. А пустая порода, оставшаяся в автоклаве, вываливается через люки.

Эти лабораторные опыты, неоднократно производившиеся при институте, надо было проверить на практике, и с серной экспедицией отправился на верблюжьих горбах в Кара-Кумы целый маленький заводик.

Инженер-химик П. А. Волков произвёл на колодцах Ших девять плавок. Результаты были блестящие. Сера вытекала чистой жёлтой струёй и застывала в подставленном ведре в великолепную сплошную массу исключительной чистоты. Продукция содержала 99,9 процента серы, — только ничтожные десятые доли процента зольных частей и ни унции вредных примесей — мышьяка или селена. Посланная на производства, потребляющие серу (в Резинотрест, Анилтрест и Главлесбум) кара-кумская сера получила исключительно блестящие отзывы.

Опыты П. А. Волкова выявили также крайнюю экономичность и простоту его способа. Вся работа по выплавке серы состоит только из трёх несложных операций: загрузки руды и воды, выпуска расплавленной серы простым открытием крана и выгрузки песка. Весь процесс плавки занимает только два часа. Аппаратура тоже очень проста: паровой котёл любой конструкции и (для автоклавов) железные котлы, выдерживающие давление 5—6 атмосфер, без каких-либо добавочных устройств внутри.

Так блестяще была разрешена проблема освоения кара-кумской серы. Так, осторожно, научно обоснованными путями, а не хищническим и невежественным наскоком, овладело Советское государство сокровищами Чёрной Пустыни.

И в итоге второй кара-кумской серной экспедиции выяснилось, что кара-кумская сера намного дешевле импортной, на которую мы расходовали свой золотой запас.

Так созрело решение строить на песках серный завод.

21 декабря 1926 г. на заседании Президиума ВСНХ Туркменской ССР участники кара-кумской серной экспедиции сделали доклад о своих работах и изложили свои соображения по поводу рентабельности будущего серного завода в Кара-Кумах.

И тотчас же, как всякое новое и смелое дело, оно нашло своих противников. Инициаторов постройки серного завода упрекали в авантюризме, пугали словами «верблюжий транспорт», «пустыня», доказывали трудности доставки воды и топлива, называли это дело «строительством на песке»...

Только через два года закончилась ожесточённая полемика вокруг кара-кумского серного завода. В 1928 г. Совнарком Туркмении решительно повернулся «лицом к пустыне», отпустив на постройку завода необходимые средства.

Но дело снова затянулось. Прошло ещё два года, и наконец в Чёрной Пустыне, на склоне бугра Зеагли, при торжественной обстановке была водружена мемориальная доска с надписью:

1 мая 1930 года заложен этот Серный завод.

Под окнами конторы, на горячей ашхабадской мостовой, стоят два автомобиля. Тяжелы, низки и длинны — больше четырёх метров — эти многоножки. Потому многоножки, что каждая имеет по три оси, а на каждой оси по паре двойных колёс. Итого двенадцать колёс, между которыми равномерно распределена тяжесть машины и груза. Благодаря этому давление каждого колеса не превышает 7—8 пудов, т. е. равно давлению ступни груженого верблюда. Поэтому колёса автомобиля едва врезаются в песок, и по «предательскому» песчаному грунту она развивает скорость в 20—30 километров в час.

Они несколько раз пересекали Кара-Кумы, пустыню не менее грозную, чем Сахара. Впервые с экспедицией академика А. Е. Ферсмана в 1929 г. они прошли Кара-Кумы насквозь, от Ашхабада до Хивы через Серный завод. После этого сделали несколько рейсов к Серным буграм. Если бы сложить пройденный ими километраж, он бы пять раз перерезал Сахару. Однажды они шли до Серного завода 12 дней, ибо тащили на себе автоклавы, по три тонны весом каждый.

А сейчас они пойдут на Серный завод с грузом махорки, сахара, чая и почтовыми посылками рабочих. Пассажиров только двое: молодой туркмен и я. Соотечественники величают его «мухендис-ер» (инженер земли, геолог), хотя он всего лишь студент третьего курса Ленинградского горного института и на Серные бугры едет на летнюю практику...

...Машины перевалили железнодорожное полотно и взяли круто на север. Розовый, по-майски цветущий Ашхабад надо забыть надолго. Мелькнул аул Кеппеле, первый и последний на нашем пути. Затем начинаются пески.

Их прорезает узкая караванная дорога — древняя Хивинская тропа, «инчи-джоль» (тесная дорога), как образно называют её туркмены. Её-то и рубцевали ёлочками треугольниковских шин наши машины.

Мы ехали по той самой тропе, по которой ровно сто лет назад, в 1832 г., прошёл английский шпион, лейтенант Ост-Индской компании А. Бернс. Он написал впоследствии о своём походе:

«Индийские пустыни ничтожны по сравнению с беспредельным океаном песков Кара-Кумов. Я не могу себе представить зрелища более грозного, чем эта пустыня...»

Я оглядываюсь по сторонам. Кругом пески. Тело и лицо зудят от приставших к потной коже песчинок. Жара пустыни лихорадочно бьёт в виски, тяжелит веки и удушливыми тисками сжимает горло. Но мне пустыня не казалась грозной, может быть, потому, что я и Бернс смотрели на Кара-Кумы с разных точек зрения: он с горба верблюда, я с сиденья двенадцатиколёсного авто.

После Бернса, спустя тридцать лет, по тропе этой прошёл в одежде дервиша, распевая мусульманские псалмы, хромой академик и авантюрист Арминий Вамбери. Потом отряд поручика колониальных войск Калитина, потом — авантюрист Файвишевич и, наконец, экспедиции советских учёных Ферсмана и Щербакова.

А теперь этот путь — путь серы. Этим древнейшим, историческим путём идёт она из недр пустыни на фабрики и заводы социалистической промышленности.

Рубчатый след, оставляемый на песке нашим авто, кажется мне символической итоговой чертой. По одну сторону её остались дряхлые легенды, сомнительная романтика песков, по другую — деловая, здоровая проза сегодняшнего дня пустыня.

И словно угадывая мои мысли, спутник, молодой туркмен-студент, говорит:

— Автомобиль на верблюжьей тропе! Ловко, а? Скоро будет аэроплан над верблюжьей тропой! А сделала это сера! Ведь завод, индустрия не могут жить верблюжьими темпами. Авто пробегает расстояние Ашхабад — Серный завод в два дня. Верблюжий караван проходит это же расстояние в 12 дней. Разница?!

— Восемьдесят пять процентов всей площади Туркмении занято песками, — продолжает он — Правда, теперь понятию «пустыня» придаётся весьма условное значение. Мы знаем, например, что Кара-Кумы представляют собою «абсолютно пастбищную территорию». Мало этого, Туркменистан будет крупнейшим местом добычи цветных металлов, в первую очередь —

ртути, молибдена и сурьмы. Или возьмём нашу серу! Разрабатываемый бугор Зеагли — это только капля в море. Разведанные уже бугры Дарваз, Чеммерли, Топ-Джульба и то не исчерпывают кара-кумских запасов серы. Шурфованием сера обнаружена и в буграх, примыкающих к кара-кумской возвышенности, или, как её иначе называют, к Заунгузскому плато. А это значит, что границы возможных серных месторождений раздвигаются до необычайных пределов. Есть все основания считать, что запасы серы здесь должны быть колоссальные, во много раз превосходящие сицилийские запасы. И наша социалистическая промышленность надолго будет обеспечена собственной самородной серой. Вот вам и Чёрная Пустыня!

...Ночевали мы, если можно назвать ночёвкой короткий трёхчасовой отдых, на колодцах Бохурдок, на сотом километре от Ашхабада.

От Бохурдока до следующей «станции» Иербента на 70 километров тянутся безводные пески. Шофёры, стиснув зубы, склонились над рулями. Машины мчались на четвёртой скорости по тем самым пескам, про которые Вамбери писал:

«В воздухе ни птицы, на земле ни жука, ни червя, лишь следы угасшей жизни, кости погибших людей и животных... Бесконечные песчаные холмы, грозное молчание смерти, багрово-красный оттенок солнца при восходе и закате, — всё говорило, что мы в огромной, может быть, самой огромной пустыне земли...»

А мне, глядя на эти грозные пески, хотелось петь от радости за пролетариат, овладевающий новыми путями в неведомых пустынях.

Вскоре мы подкатили к Иербенту. Я увидел пятнадцать кочевничьих кибиток и два небольших домика с плоскими крышами... Город чудес! Столица пустыни! Велико было моё разочарование, но и преждевременно.

Я скептически оглядываю небольшой сад-виноградник, защищённый от ярости песков изгородью из досок чайных ящиков. Несколько поодаль расположился баштан с арбузами и дынями.

Входим в один из домов.

Я перешагнул порог и остановился в крайнем изумлении... Блеск стеклянных шкафов и разложенных в них хирургических инструментов, никелированное сияние кипятильников, пенная кипень ваты, белые чистые стены и наркомздравские плакаты на них!

Где мы находимся? Я смотрю в окно. В грозном величии лежит пустыня, лежит совсем рядом, за прозрачной тонкостью стекла. Кричит надрывно верблюд. Скрипит визгливо блок колодца. Да, мы в Кара-Кумах!

— ...Работы по горло! — рассказывает заведующий больницей. — К нам едут за 300—500 километров.

Позже мы пили кок-чай в другом домике, в прохладном кооперативе «Туркмен-Берляшик». Я посматривал на полки, загруженные товарами: кульки с сахаром, чай, табак, мануфактура, чайники, вермишель, тетради и карандаши.

Немного позже полудня мы добрались до Кзыл (Красного)-такыра. Я любовался им, похожим на огромный красный бархатный ковёр, любовался стоящей на окраине его причудливой скалой Дан-Гли (колокольчик), когда услышал восторженный вскрик студента:

— Серные бугры!

Так вот какие эти холмы, это Эльдорадо Чёрной Пустыни! Жёлтые конусы среди яркокрасного песка. Непередаваемое волнение захлёстывает дыхание.

Автомобиль влетел на гребень бархана, и я увидел посёлок. Окружённые Серными буграми лежали белые каменные здания, землянки, высокая радиоантенна, беленький домик ревкома Кара-Кум, на котором развевался красный флаг — единственный на много сотен километров в окружности. Последним я увидел серый куб завода с трубой, настоящей заводской трубой.

И вдруг раздался тоненький, заливистый гудок завода.

И студент, глядя на белый мятый пар, выбрасываемый из трубы, проговорил:

— В тот миг, когда он загудел впервые, моя страна перевернула новую, счастливую страницу своей истории!..

III

Я ставлю поудобнее локти на стол и склоняюсь низко над моделью завода.

Как остроумно и в то же время как просто он построен!

Вот серный бугор Зеагли. Я сдуваю с него жирный слой пыли и вижу, что разработка руды на бугре ведётся открытым способом, вручную. Добытая руда в тележках по наклонной траншее вывозится в дробилку. Отсюда — снова на тележках и снова по наклону размолотая руда поступает прямо на крышу завода, в бункера, которые ссыпают её для плавки в автоклавы. Выплавленная сера вывозится на склады, а отходы плавки идут снова вниз, в отвалы. Так, по нисходящей линии, идёт весь процесс добычи и плавки, что очень облегчает всю работу.

Я осторожно двумя пальцами поднимаю крышу завода и вижу внутри восемь вертикальных котлов-автоклавов, стоящих в два ряда. Мне этого мало. Снимаю один из автоклавов с кронштейнов и начинаю разбирать, чтобы ознакомиться с его внутренним устройством. Но мне мешает мой спутник:

— Довольно вам возиться с моделью. Пойдёмте, лучше посмотрим настоящие заводы и рудник!

Мы выходим на крыльцо клуба. Серная долина курится пылью. Ежедневно, после шести вечера, здесь проносится песчаный самум, и его пыль оседает на всём посёлке — зданиях, машинах, животных и людях.

...В тёмном и тесном цехе в два ряда стоят автоклавы. Они бурлят неуёмной силой пара, нагнетаемого под давлением до 6 атмосфер. Пар поднимает температуру воды в автоклаве до 135°, при которой сера плавится.

Мы подходим ближе к одному из автоклавов. Он представляет собою огромную железную реторту. Верхушка его с загрузочным люком уходит высоко под крышу завода. Через загрузочный люк бункера засыпают в автоклав руду в количестве около $3^1/_2$ тонн, измельчённую в дробилке на мелкие кусочки. Затем загрузочный люк герметически задраивается, а в автоклаве через нижний вентиль накачивает воду. Когда руда основательно пропитается водой, пускают из котла пар.

Нагрев руды паром производится в течение одного часа, после чего паропровод закрывается и автоклав оставляют в покое минут на двадцать, на полчаса. За это время расплавившаяся сера опускается вниз, и вся масса отстаивается. Теперь остаётся только открыть нижний вентиль, и сера хлынет наружу мощной струёй. Оставшуюся же в автоклаве пустую породу через нижний разгрузочный люк вывалят в вагонетку и отвезут в отвал.

Весь процесс плавки занимает не более 3—4 часов. Таким образом, в сутки один автоклав может сделать 6—8 выплавок. А при довольно богатой кара-кумской руде (35—40 процентов содержания серы) каждый автоклав даст за три смены от 12 до 18 тонн химически чистой серы.

С автоклавом, около которого мы стояли, оруловал рабочий-туркмен, словно оклеенный обоями, — так пёстр был рисунок его халата. Он ловко, с какой-то особенно чёткой щеголеватостью в движениях, манипулировал вентилями, сосредоточенно следя по манометру за силой давления пара в автоклаве. Заметно было, что работа его не только не тяготит, но доставляет творческое наслаждение. И это — вчерашний кумли, весь видимый мир которого заключался в стаде баранов, паре верблюдов и дымном костре!

А когда мы уходили из цеха, услышали его восторженный вскрик:

— Золота!.. Уй-бай-яй, чистай золота!..

Из нижнего открытого вентиля сера сильной дымящейся струёй лимонно-жёлтого цвета хлестала в подставленную деревянную форму.

— Исключительная по качеству продукция, — сказал студент, — 99,9 процента чистой серы!..

...Юго-восточным склоном, навстречу тачкам с рудой, мы поднимаемся на вершину Зеагли, к руднику. Оттуда несутся тяжкие удары кайл, лопат и ломов. Добыча руды производится вручную. Но это временно, конечно. Вскоре здесь будут поставлены экскаваторы. Их стальные челюсти будут выбрасывать на поверхность сразу по полтонны руды.

Мой спутник поднимает жёлтый и по-янтарному полупрозрачный камень, отлетевший к нашим ногам от мощного удара лома.

— Мы не нуждаемся в дорогостоящем предварительном обогащении. Это нужно только для бедных руд. А у нас... Смотрите, — по меньшей мере 50 процентов чистой серы! А подсчитанные запасы её придётся, пожалуй, увеличить во много раз. Почему? Да дело в том, что подсчёты эти произведены на основе предположений об осадочном происхождении кара-кумской серы. Осадочная сера всегда относится к определённым горизонтам, определённым наслоениям, ниже которых серы не бывает. До сих пор мы думали, что сера на этом бугре залегает слоями, в плане имеющими форму груши. Верхний слой состоит из пустой породы, толщиной метра в три. Затем идёт мощный слой, метров в 20—30, равномерно осернённого песчаника, собственно серной руды. Затем идут менее интересующие нас сульфатно-каолиновые и кремнисто-сульфатно-каолиновые породы. И, наконец, подстилается всё это глинами, тоже серы не содержащими. Так предполагали все мы ещё недавно. И считая, что сера залегает только горизонтально, только в одном слое, вывели цифру запасов по бугру Зеагли в 140 000 тонн.

— Но во время последнего посещения Серного завода профессором Гвоздевым им был обнаружен в выемке, где происходит добыча руды, сильно осернённый столб, который навёл его на мысль о недровом происхождении серы, о происхождении её в итоге действия восходящих термальных (горячих) источников. Источники эти, пробивая песчанистые породы, отлагали в них серу, которая разлилась по трещинам встреченных ею пород. И тут мы получаем в руки нить, по которой доберёмся до глубоких недр, где и заложены настоящие серные богатства.

— Теперь нам рисуется совсем иная картина!.. Бугор Зеагли представляет собою широкую шляпу серного гриба, ножка которого уходит в недра, где и находится основной массив серы. Профессором Гвоздевым уже сделано предложение приступить к разработке серного столба не только по простиранию, но и вглубь. А если рудное тело залегает не в виде горизонтальной поверхности, но идёт в глубину столбом, следовательно, цифра запасов серы по бугру Зеагли должна быть увеличена во много раз!

— И это не только по одному Зеагли! Строение всех остальных бугров должно быть таким же. Теперь подумайте, какие головокружительные запасы серы должны здесь находиться! Но мысль об исключительной мощности кара-кумских серных месторождений наводит нас на ещё одно оригинальное сопоставление. А именно: все крупные залежи серы на земном шаре расположены в северноширотном поясе, между 25 и 40°. Например: Техас и Луизиана на широте 25—30°, Сицилия 37—38°, Испания 36—38°. А наше кара-кумское месторождение на широте 35—42°. В этом сходстве нет никакой странности или случайности. Как правило, в холодных странах в земных породах преобладают изменения физического характера, в то время как в жарких странах — химического. А образование серы происходит только в порядке химических процессов.

— И всё это говорит о том, что мы имеем здесь мировые месторождения серы. В этом уже нет сомнения! Мы хоть сейчас можем на любом из Серных бугров ставить завод примерно на такую же производительность, как и наш. Но бугор Дарваз отстоит от Зеагли на 50 километров, Топ-Джульба — на 25 километров, Чеммерли — 10 километров. Что же нам делать? На каждом из этих бугров ставить свой завод? Дробить наше капитальное строительство? Однако выход есть. Надо соединить все бугры железнодорожными ветками или, ещё лучше, кабелькранами (подвесной, канатной дорогой), а здесь, у бугра Зеагли, выстроить один общий мощный завод.

Я с удивлением и, сознаюсь откровенно, с восхищением слушал студента. И это — недавний кумли, человек песков, сын керван-баши! Такая широкая эрудиция, смелость в планах и деловая трезвость при оценке их!

— Скептики уверяют нас, что широкое, мощное производство здесь невозможно из-за отсутствия воды. Это чепуха! Конечно, с нашими дедовскими колодцами мы далеко не ускачем. Нужно другое! Мы заложим глубокие скважины на артезианскую воду около бугров Дарваз и в изгибе русла Унгуза. Мы, наконец, решили проблему соединения русла Унгуза с Аму-Дарьёй и зальём водой сернистый кара-кумский район! Попробуйте утверждать, что это невыполнимо! Большевики победят Чёрную Пустыню, как победили уже Днепр, мёртвый Кара-Богаз, Хибинскую тундру и Арктику!

Речь моего спутника прервал шабашный заводской гудок. Шумной толпой вышла из завода смена и пошла вниз, в посёлок. Поднялся и студент с глыбы серного песчаника.

— Я хотел вам рассказать ещё о втором мощном серном месторождении, здесь же у нас, в Туркмении, в районе Гаурдака. Его запасы серы также огромны. Теперь сложим Кара-Кумы с Гаурдаком, и в итоге получим полную уверенность, что серная проблема в Советском Союзе решена.

(«Клад Чёрной Пустыни», 1933 г.)

Д. Тимм

БОРЬБА ЗА ИСТОЧНИКИ СЕРЫ

Первым сырьём для получения серной кислоты служила сера вулканического происхождения, встречающаяся на острове Сицилия. До 1900 г. вся сера, потреблявшаяся во всём мире, получалась в Сицилии. Она встречается там в пористой породе, содержащей более 40% свободной серы. До самого последнего времени для выплавки серы из этой породы применялись крайне примитивные методы. Руда, нагромождалась в кучи, и часть серы сжигалась для того, чтобы расплавить остальную часть. Совершенно ясно, что при таком методе выход серы был очень низким. Жидкой сере давали затвердеть в деревянных формах; в продажу она поступала под названием черенковой, или штыковой серы. Сера высокой степени чистоты получается перегонкой в глиняных ретортах. Сперва пары серы конденсируются в холодной конденсационной камере в виде мелкого кристаллического порошка. Этот порошок поступает в продажу под названием серного цвета. После того как камера нагреется, пары конденсируются в жидкость, которую отливают в формы.

Мировая монополия, которой Сицилия пользовалась на серном рынке, имела настолько большое значение в начале XIX столетия, что когда неаполитанский король передал эту монополию одной французской фирме в Марселе, нависла угроза войны из-за серы между Францией и Англией, и эта монополия была отнята у Франции.

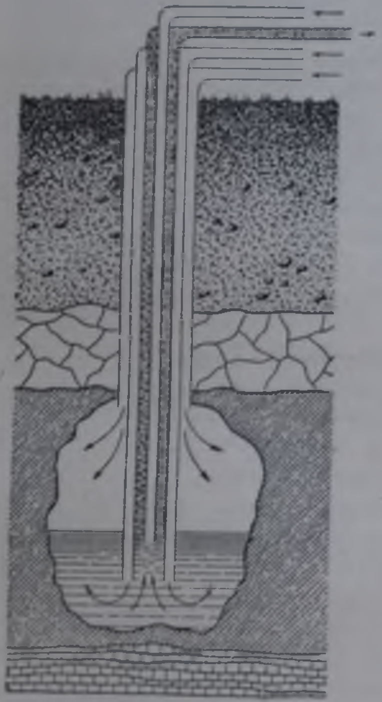


Рис. 88. Схема добычи серы по методу Фраша.

В 1865 г. в Америке, в штате Луизиана, при разведочном бурении на нефть геологи нашли залежи серы примерно на глубине 150 *м* под слоем плавунов. Экономическое значение этого открытия было тотчас же признано, причём немедленно был слелан ряд попыток добывать эту серу; все они, однако, оказались безуспешными. Была сделана попытка соорудить шахты до залежей серы, чтобы сделать возможной их разработку. Однако когда была достигнута глубина несколько большая 30 *м*, через пролом в креплении шахты стало поступать такое количество ядовитого сероворода, что проект этот пришлось оставить.

В 1852 г. в Гайлдорфе (Вюртемберг)родился Герман Фраш, который впоследствии разработал метод поднятия этой серы на поверхность. В возрасте 16 лет он эмигрировал в Америку, где стал работать фармацевтом. Он вскоре заинтересовался проблемой очистки нефти и в этой области сделал ряд изобретений. Около 1890 г. ему пришла мысль пробурить скважину до слоя, содержащего серу, расплавить под землёй серу посредством перегретой воды и выкачать жидкую серу на поверхность. Так как температура плавления серы (115°) лежит выше температуры кипения воды при атмосферном давлении (100°), то воду пришлось нагревать под давлением для того, чтобы достигнуть температуры, достаточной для расплавления серы. Фраш пробурил скважину, опустил в неё трубу диаметром в 10 дюймов (25,4 *см*) вплоть до залежей серы и затем продолжал бурение через слой серы с буром в 9 дюймов (22,86 *см*). Внутри этой обсадной трубы было ещё две трубы с диаметрами, равными 6 и 3 дюймам (15,2 и 7,62 *см*). Перегретая вода при 168° подавалась вниз с помощью насоса по кольцевому пространству между обеими трубами, а расплавленная сера должна была откачиваться через трёхдюймовую трубу (7,62 *см*).

Как был произведён первый опыт, лучше всего рассказать словами самого Фраша:

«Когда всё было готово для производства первого опыта, который мог иметь или крупный успех, или крупную неудачу, мы подняли давление пара в котлах и без всяких приключений погнали перегретую воду в грунт. Если бы хотя на мгновение необходимая высокая температура упала ниже точки плавления серы, это означало бы неудачу, а поэтому всё внимание было устремлено на эту первую попытку.

После того как перегретая вода поступала в землю в течение уже 24 часов, я решил, что должно было расплавиться достаточное количество мате-

Рис. 89. Струя расплавленной серы, вытекающей из-под земли при действии установки Фраша.

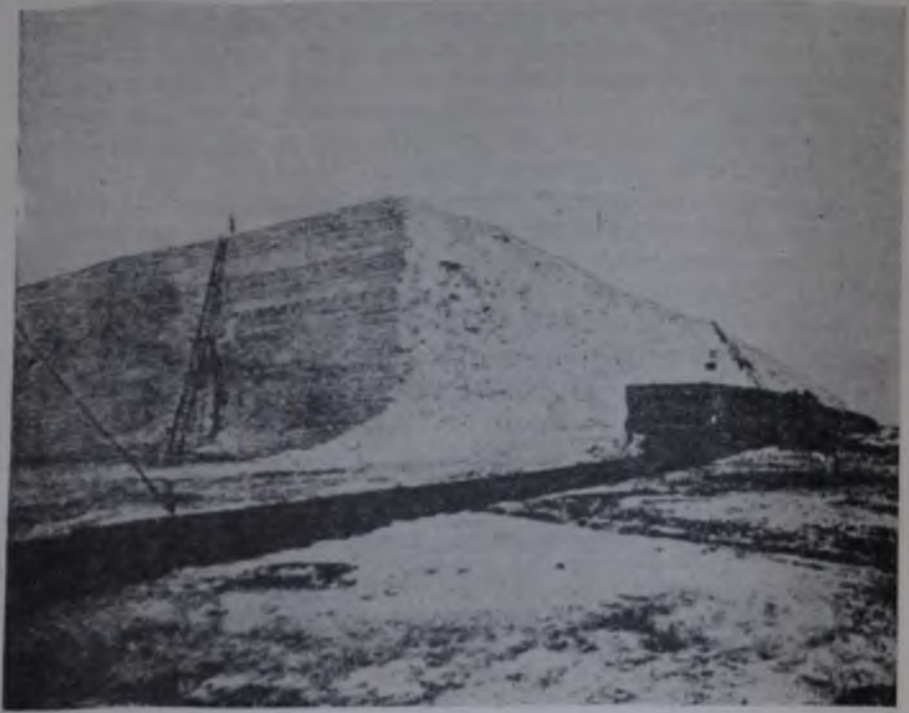


Рис. 90. Глыба застывшей серы.

риала и что можно уже добыть серу. Насос, включённый в линию серы, был пущен в ход, и увеличивающееся напряжение машины показывало, что производится работа. Машина шла всё медленнее и медленнее, пар всё поддавали, и вдруг рабочий у напорной трубы прокричал из всей силы: «Идёт! Идёт!» На полированном стержне появилась жидкость, и когда я его вытер, то увидел, что палец мой покрыт серой. Через 5 минут приёмники, находящиеся под давлением, были открыты, и красивые потоки золотистой жидкости потекли в приготовленные нами бочки. Через 15 минут мы увидели, что приготовленных 40 бочек уже недостаточно. Быстро мы сделали насыпи, обшили их досками и стали в эти резервуары принимать потоки серы; с этого дня мы уже никогда не принимали серу в специальные сосуды или формы.

Когда солнце зашло, мы остановили насос, чтобы сохранить жидкую серу внизу до тех пор, пока мы не приготовимся принять новые порции её утром. Надо было сперва убрать материал, уже имеющийся на поверхности, и нашлось много охотников, которые очистили нам площадку для завтрашнего дня. Когда всё было закончено, вся сера собрана в одну кучу и рабочие ушли, я, оставшись наедине, наслаждался успехом. Я влез на кучу серы и уселся на самый верх её. Мне было приятно слышать слабый треск, вызываемый сжатием тёплой серы, это походило как бы на приветствие, как бы в доказательство того, что я достиг цели... Мы расплавили минерал под землёй и доставили его на поверхность в жидком виде. Мы показали, что это может быть осуществлено.

Особенно приятно это было ещё потому, что критика моего предложения со стороны технических журналов и всех тех, кто слышал о моих планах, по отношению ко мне была очень неблагоприятна. Каждый из выражавших своё мнение казался убеждённым в том, что осуществить эти планы невозможно; одно хорошо известное лицо предлагало даже съесть каждую унцию серы, которую мне удалось бы выкачать.

Хорошей иллюстрацией к тому общественному мнению, которое существовало по этому вопросу, может служить замечание парнишки, отвозившего меня на станцию на утро после нашего первого опыта. Он сказал: «Действительно, вам удалось выкачать серу, но в это никто не верил, кроме старика-плотника, да и то про него говорят, что он полоумный».

Позднее, когда выяснилось, что пары серы слишком быстро разъедают непосредственно действующие насосы, процесс этот был изменён. В жидкую серу вдувается воздух, который вместе с серой образует пену, а пену эту легко поднять на поверхность. По трубам сера поступает в гигантские резервуары, длина которых 75 *м*, ширина 45 *м* и высота 18 *м*, в которых она и застывает. Когда такой резервуар наполнится серой, стенки его разбивают и серу с помощью динамита взрывают, причём получаются куски, годные уже к перевозке. Сера получается замечательной чистоты, обычно превышающей 99,5%.

(*«Введение в химию»*, 1935 г.)

Джефри Мартин

СЕРОВОДОРОД

Сернистый водород, или сероводород H_2S, — бесцветный газ, отвратительный запах которого знаком всем по тухлым яйцам, из которых он выделяется. Он очень легко растворяется в воде и горит слабым синим пламенем.

Так как этот газ является продуктом разложения животных остатков, то он часто скопляется в отхожих местах и сточных трубах. Но это вещество не только имеет отвратительный запах, оно страшно ядовито. За исключением, может быть, паров синильной кислоты, нет другого газа, который убивал бы так быстро. Человек, вошедший в атмосферу почти чистого сернистого водорода, внезапно, без всяких предварительных симптомов, теряет сознание и падает мёртвым. Если вдыхать его даже в небольших количествах, и тогда смерть наступает быстро. Так, например, 0,2 процента этого газа в воздухе убивает животных в одну или две минуты, а 0,07 процента убивают через час или два часа. Были случаи, когда рабочие при очистке выгребных ям, вдохнув этого газа, моментально умирали. Известен случай, когда рабочий, спустившись в яму, пропал. Немного спустя товарищи его, не слыша его работы, спускались друг за другом, чтобы узнать, в чём дело, и все погибли, ибо как только опускались до ядовитого слоя, умирали, не успевая даже предупредить или крикнуть. Газеты то и дело отмечают случаи, когда спасатели погибают вслед за спасаемыми.

В соляных копях этот газ часто в больших количествах выделяется из земли (вероятно, вследствие действия кислых вод на сернистые соединения), и много несчастных случаев происходит при этом. А в вулканических областях он часто выделяется прямо из-под почвы.

Внезапное выделение сероводорода из-под почвы случилось в 1896 г. во время постройки Смитовского маяка в Чезапикском заливе. Во время рытья ямы для устройства фундамента под маяк рабочие находились в кессоне приблизительно на 5 *м* ниже уровня моря. Вдруг этот пагубный газ стал струёй выходить в порожнюю часть кессона из песчаного дна моря.

В кессоне в этот момент было 35 человек. Они почувствовали страшную вонь, поднимающуюся снизу. Взглянув наверх, они увидели, что ряд свечей, воткнутых вдоль железных стен, горели каким-то необыкновенным зелёным пламенем. Газ начал действовать. Один за другим рабочие стали пошатываться, началось головокружение, в глазах помутилось, в горле чувствовалось страшное жжение. Бросились спасаться, и к счастью все успели выбраться. И всё-таки рабочие страшно мучились после того: они всю ночь не спали, стонали и только к утру некоторые из них могли открыть глаза, так как свет вызывал в них мучительную боль. Положили им на головы пузыри со льдом и за руки водили их на обед. Между тем прибыл доктор, исследовал кессон и показал, что рабочие затронули полость, содержащую сероводородный газ. И действительно, когда воздушная крышка кессона была снята, из кессона распространилась такая вонь, что была невыносимой даже в самых отдалённых углах парохода. На целых три дня все работы были прекращены. Неоднократно пытались выгнать газ из кессона, наполняя его доверху водой, но это не помогало, так что все работы приостановились. На четвёртый день заведующий работами стал вызывать «охотников», приглашая их спуститься в воздушную шахту и осмотреть основательно работы. Отозвались на вызов 15 решительных молодцов, несмотря на то, что все знали и видели, как мучились их тридцать пять товарищей, лёжа на койках, ослепшие и с мучительным жжением в горле. Спустившись на дно, они нашли, что струя газа стала слабее, и ревностно принялись за работу, ожидая с минуты на минуту, что газ задушит их. Устроили работу сменами, через каждые полчаса, и к вечеру остались сущие пустяки, чтобы дорыть до назначенной глубины. Но с последней сменой как раз и случилась чрезвычайно трагическая история. Во главе этой смены был старый, опытный кессонный рабочий, по фамилии Гриффин, человек необычайной силы и выносливости. И хорошо, что такой человек стоял во главе этой смены, потому что только что они собрались было вылезать из кессона, как вдруг из боковой стены ямы на дне кессона снова вырвалась с шумом струя страшного газа и в один миг наполнила внутренность кессона. Последовала страшная сцена. Побросав свои инструменты, все бросились спасаться. Но воздушная винтовая лестница была очень узка и по ней можно было взбираться только по одному человеку. Началась неописуемая борьба — кто раньше попадёт в дыру. Наконец большинство упало без чувств прямо на пол, только наиболее сильные успели попасть на лестницу и полезли вверх. Гриффин оставался всё время внизу. Он дал знак спустить верёвку. Её немедленно спустили. Он схватил ближайшего рабочего, быстро обвязал его поперёк тела и отправил вверх. С большими усилиями он стащил в одно место находившихся в обмороке товарищей, и когда верёвка вернулась, он отправил остальных друг за другим точно таким же способом. Напоследок попался огромный ирландец, гигант по телосложению. И хотя Гриффин наполовину был ослеплён газом и сам находился в полубессознательном состоянии, он напряг все свои силы и отправил и этого гиганта наверх. Но тут возникло неожиданное затруднение. Огромное тело ирландца не проходило в 46-сантиметровую дверку верхнего отверстия в крыше. Как ни старались люди извне, ничего не могли поделать: повисшее поперёк тело задевало за край прохода, и его никак не могли выправить. Тогда Гриффин медленно, в полузабытьи, вскарабкался по 30-футовой лестнице, отдёрнул безжизненное тело ирландца, выправил и вытолкнул его наружу. Вслед за ним он хотел было вылезти и сам, но его окоченевшие пальцы соскользнули со стальной рамы отверстия, и он полетел назад в смертельную ловушку. Тотчас опустили верёвку, и Гриффин чувствуя это, очнулся и под влиянием последнего умственного напряжения приподнялся, быстро подвязал себя подмышки, и в таком виде его вытащили наружу. Шесть недель он оставался слепым; два человека пролежали несколько месяцев в больнице; один рабочий сошёл с ума, а четверо других кессонщиков стали инвалидами, получив мучительную болезнь, известную под названием «корчи», которая часто приключается с людьми, работающими под большим воздушным давлением без известных предосторожностей.

(«Чудеса и завоевания современной химии», 1913 г.)

Плиний Младший

СЕРНИСТЫЙ ГАЗ ИЗ ВУЛКАНОВ

Сернистый газ в большом количестве выделяется вместе с углекислым газом из вулканов, особенно во время сильных извержений. Благодаря большой плотности этих газов они «выливаются» из кратера и растекаются по земле, заполняя все низины и ямы и удушая животных на своём пути. Во время сильных извержений жертвою этих газов становятся и люди.

В 1783 г. во время большого вулканического извержения на острове Исландия, от сернистого и углекислого газов, выделившихся из кратера, задохнулись насмерть не менее 9000 человек и погибло больше 250 000 скота — лошадей, коров и овец.

Сохранилось прекрасное описание знаменитого извержения Везувия в 79 г., засыпавшего города Помпею, Гедкуланум и Стабию. Описание это было сделано под свежим впечатлением катастрофы Плинием Младшим в письме к римскому историку Тациту. Жертвою его сделался один из величайших учёных древнего мира — Плиний Старший, автор первого описания мира.

Приводим отрывки из этого письма. *(Состав.)*

«Ты желаешь, чтобы я описал тебе смерть моего дяди, с тем чтобы ты мог вернее передать потомкам его облик. Он был в Мизенуме начальником императорского флота. 24-го августа около часа пополудня мать моя заявила ему, что показалось облако необыкновенного вида и величины. Он потребовал обувь и поднялся на холм, откуда лучше всего можно было наблюдать картину. Издали нельзя было распознать, из какой горы исходило облако, и только позднее стало известно, что это был Везувий. Облако поднималось подобно дереву, именно пинии: оно имело очень высокий ствол и распростиралось оттуда в виде многочисленных ветвей. — Я полагаю, что оно было поднято вверх сильною струёю воздуха, и когда последняя сделалась слабее и оставила его или когда его тяжесть получила перевес, оно медленно распространилось во все стороны: в некоторых местах оно было белым, в других же грязным и пятнистым, смотря по тому, увлекало ли оно с собой в высоту землю или пепел. Учёный муж имел намерение ближе познакомиться с происшествием. Он приказал поэтому приготовить быстроходное судно. Он спешил туда, откуда другие бежали, и прямым курсом направил судно в самую опасность, столь далёкий от страха, что диктовал для записи все движения, все формы представшего его взорам страшного явления и зарисовывал его на бумагу.

Чем более приближалось судно, тем горячее и плотнее становился падающий пепел; уже стали падать пемза и чёрные камни, обожжённые и треснувшие от огня; вот уже и море сделалось мелким и берега труднодоступными вследствие извергнутой массы. Он помедлил немного, как будто намеревался возвратиться, но скоро после этого сказал лоцману, который советовал ему это: «Храброго поддерживает счастье. Правь к Помпонианусу!» Последний находился в Стабии, отделённый морскою бухтой. При виде опасности, которая, правда, ещё не была непосредственною, Помпонианус сложил всё своё имущество на корабли и решился бежать, как только появится благоприятный ветер. После того как мой дядя прибыл туда, он обнял напуганного, утешил и уговорил его. Желая смягчить его ужас своей беззаботностью, он принял ванну, сел потом за стол и начал кушать в весёлом настроении духа, или, что одинаково указывает на величие души, старался быть весёлым. Между тем во многих местах из Везувия выбрасывались огромные огненные языки, высоко поднималось пламя, и блеск и сияние его ещё резче выдалось во мраке ночи. Чтобы ослабить страх окружающих, мой дядя заявил, что это происходит от горящих домов и поместий, которые покинули в страхе жители. После этого он лёг и крепко заснул. Но двор, откуда можно было попасть в комнату, так сильно наполнился пеплом и пемзой, что при дальнейшем пребывании в спальне выход из неё был бы совершенно преграждён. Поэтому его разбудили и он отправился к Помпониану и прочим, которые бодрствовали. Составлен был общий совет, чтобы решить, остаться ли в доме или выйти под открытое небо, так как дом от частых и страшных толчков колебался и, казалось, разошёлся по всем швам, то наклонялся он в одну, то в другую сторону и затем снова возвращался в своё прежнее положение. Под открытым небом боялись падения кусков пемзы, хотя они были легки и выжжены. После обсуждения опасности выбрали, однако, последнее, так как одних победили разумные доводы моего дяди, других страх. Для защиты от падающих камней положили на головы подушки и привязали их платками. В других местах наступил уже день, здесь же царила ночь, ещё более мрачная и тяжёлая, чем прежние ночи. Множество факелов и различных светильников едва смягчали этот мрак. Решено было идти к берегу и удостовериться, всё ли ещё опасно море; оно было ужасно и угрожало опасностью. Здесь мой дядя лёг на разостланный для него плащ, потребовал ещё холодной воды и выпил. Но пламя и запах серы, которые им угрожали, обратили некоторых в бегство и заставили его подняться. Он встал, опираясь на двух слуг, но тотчас же опять опустился на землю. Я подозреваю, что густые испарения захватили ему дыхание и закрыли дыхательное горло, которое было у него от природы слабо, узко и часто подвергалось воспалениям. Когда, наконец, на третий день сделалось снова светло, его труп был найден совершенно нетронутым, также и его одежда; он походил скорее на спящего, чем на мёртвого».

В. С. Горшешников

КАРА-БОГАЗ-ГОЛ

К востоку от голубых вод Каспийского моря глубоко в материк вдаётся огромная свинцово-серая водная поверхность, занимающая около 25 000 $м^2$. С запада она отделяется от Каспийского моря узкой косой, которая только в одном месте прорезана тесным и неглубоким проливом. Ширина этого пролива у входа 186 м, а длина его — около 2 км. Этот пролив, собственно, и носит у населяющих окрестные степи туркмен название Кара-Богаз-Гола — Чёрной пасти, так как через него воды Каспийского моря в тёплое время года непрерывным и быстрым потоком вливаются в залив, который туркмены называют Аджи-дарья — «горькое море», или Кули-дарья — «слуга моря». Пришельцы из других стран перенесли название пролива на весь залив, и уже десятки лет этот залив известен европейцам под названием Карабугаза или Кара-Богаз-Гола.

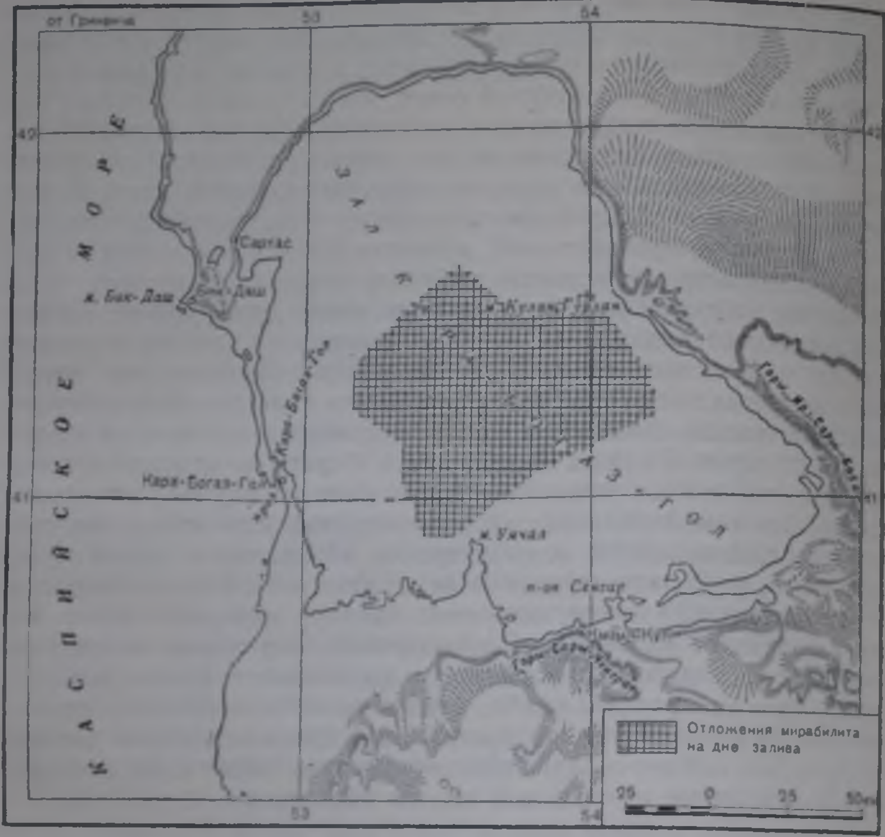

от Гринвича
53
54
42
41
КАСПИЙСКОЕ МОРЕ
Сартас
м. Бек-Даш
Бек-Даш
Кара-Богаз-Гол
Кара-Богаз-Гол
м. Умчал
Отложения мирабилита на дне залива
25
0
25
50км

Рис. 91. Карта залива Кара-Богаз-Гол *(заштрихованы места отложений мирабилита).*

Одним из первых путешественников, проникших в Кара-Богаз-Гол (1836 г.), был Карелин. «В Каспийском море нет прибрежий, столь решительно и во всех отношениях негодных», — написал этот исследователь в своём отчёте.

В 1847 г. лейтенант Жеребцов обошёл кругом берега всего залива на пароходе «Волга». В своём донесении Гидрографическому управлению Жеребцов сообщал:

...«Залив Кара-Бугазский... являет собой обширную водную площадь, превышающую Ладогу и почти отрезанную от моря двумя бесплодными косами. Хотя залив и лежит на широте Неаполя, но климатом обладает жарким и пустынным.

Все берега пустынны и не имеют пресной воды. Мною не было обнаружено ни единого ручья, какой впадал бы в это поистине мёртвое море.

Вода в заливе имеет чрезвычайную солёность и плотность. Дождей, по рассказам туркмен, в заливе не бывает.

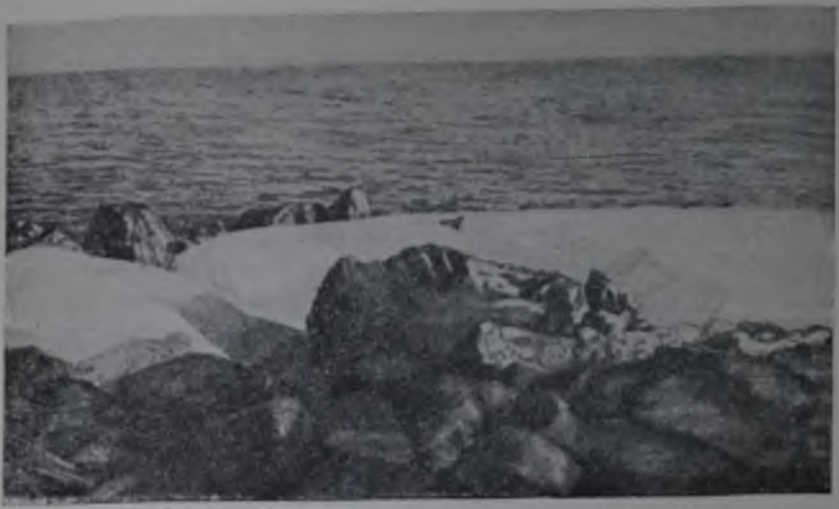


Рис. 92. Отложения мирабилита на берегах залива Кара-Богаз-Гол.

Надлежит помнить, что залив окружён раскалённой пустыней и является, если будет уместно сие сравнение, большим котлом, где выкипает каспийская вода.

Грунт залива весьма замечателен: соль, а под ней известковая глина. Соль, полагаю, особенная, не того состава, что обыкновенная, употребляемая в пищу и для засола.

Непонятным для меня представляется быстрейшее течение из моря в залив, что с несомненностью указывает на различие уровней воды в заливе и в море.

На основании всего сказанного я позволяю себе заключить, что побережья залива Кара-Бугазского, как и самый залив, лишены какого бы то ни было интереса государственного».

«Особенная» соль, составляющая, по свидетельству Жеребцова, верхний слой грунта в Кара-Богаз-Голе, оказалась, после того как залив был исследован более подробно, действительно иной по составу, чем обыкновенная поваренная соль. Она представляет собой водный сернокислый натрий $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$, открытый в 1640 г. немецким иатрохимиком Иоганном Рудольфом Глаубером (1604—1668). Глаубер назвал эту соль удивительной, или чудесной солью (Sal mirabile), потому что, с одной стороны, она обладает сильным слабительным и мочегонным действием и, с другой стороны, как считал Глаубер, — при сплавлении с углем она его растворяет. На самом деле в последнем случае происходит не растворение угля, а его превращение или в угарный, или в углекислый газ наряду с одновременным переходом сульфата натрия в сульфит или, при других условиях реакции, — в сульфид:

$$2Na_2SO_4 + C = 2Na_2SO_3 + CO_2;$$
$$Na_2SO_4 + C = Na_2SO_3 + CO;$$
$$Na_2SO_4 + 2C = Na_2S + 2CO_2.$$

Водный сернокислый натрий, т. е. кристаллогидрат сернокислого натрия, в память об открывшем его Глаубере, часто называют глауберовой солью, а минерал, представляющий собой природный десятиводный сульфат натрия, носит название мирабилита. «Удивительная соль» Глаубера действительно представляет собой вещество, замечательное как по своим свойствам, так и по значению в производственной деятельности человека. Она образует крупные бесцветные кристаллы, которые на воздухе, не насыщаясь влагой, быстро теряют кристаллизационную воду, «выветриваются» и превращаются в порошок безводного сульфата натрия. Безводный Na_2SO_4 в промышленности часто называют просто сульфатом. Хорошо образованные кристаллы $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$, обладающие гладкими, неповреждёнными гранями, однако, очень долго могут противостоять выветриванию и оставаться неизменными по форме и по составу.

Глауберова соль растворяется в воде, причём происходит очень сильное поглощение тепла.

Как уже было упомянуто, глауберова соль легко может быть превращена в безводный сульфат натрия. А сульфат является одним из важнейших видов промышленного сырья. Он идёт на изготовление стекла, употребляется в бумажной и многих других видах промышленности. Он служит источником для получения соды, серы, сульфата аммония, сернистого натрия, сернокислого калия и других важных в народном хозяйстве веществ.

Глауберова соль очень распространена в природе. Она входит в состав многих минеральных вод. Многие соляные озёра также содержат эту соль в значительных количествах. В СССР такими озёрами являются соляные озёра заволжских степей и Кавказа. На дне нескольких озёр на Кубани около Баталпашинска она лежит слоем в 2 *м*. В некоторых случаях она встречается в виде пластов среди других горных пород. Например, в 40 *км* к востоку от Тбилиси, у подошвы хребта «Волчья грива», на глубине всего 1,5 *м* лежит мощный слой очень чистой глауберовой соли. В зарубежных странах имеются крупные месторождения сернокислого натрия в Испании, в Канаде и во многих местах западных частей США. Однако исключительными по богатству глауберовой солью являются восточное побережье Каспийского моря и особенно его залив Кара-Богаз-Гол.

Мы видели, что уже Жеребцов заметил, что в Кара-Богаз-Голе оседает какая-то особенная соль. Однако его отзывы о значении Кара-Богаз-Гола и возможностях промышленного использования этого залива, конечно, не могли способствовать возбуждению интереса к Кара-Богаз-Голу и стремлений к его исследованию и использованию.

Немудрено, что царское правительство и промышленные круги старой России, и в более благоприятной обстановке не блиставшие поворотливостью и предприимчивостью, не сумели быстро оценить богатых возможностей, таившихся в исполинской Золушке — Кара-Богаз-Голе. Только в 1897 г. под влиянием всё более накоплявшихся данных о неисчислимых богатствах этого залива догадались отправить для его исследования экспедицию под руководством академика Андрусова и Лебединцева. Во время этой экспедиции акад. Андрусов, исследуя восточные берега залива, едва спасся от смерти, грозившей ему из-за отсутствия воды в степях, в которые он углубился.

В результате работ экспедиции было неоспоримо установлено, что Кара-Богаз-Гол представляет собой величайшее в мире месторождение глауберовой соли, которая может быть использована для разнообразнейших целей в промышленности.

Сейчас же потянулись туда жадные руки предпринимателей. Иностранные — французские, английские и бельгийские — капиталисты задумали организовать на острове Челекене комбинат по добыче и химической переработке глауберовой соли... Однако царское правительство не согласилось сдать Кара-Богаз-Гол и Челекен на концессию.

Весьма вероятно, что на отказ правительства повлияли различные «свои люди», аппетиты которых тоже разгорелись при слухах о сказочных богатствах Кара-Богаз-Гола.

Тогдашнее министерство земледелия и государственных имуществ разделило Кара-Богаз-Гол на участки и стало за плату сдавать их для добычи богатств, открытых экспедицией. Добычей мирабилита стали заниматься разнообразные люди. Казанский купец Шарофей Губаев, гильзовый фабрикант Катык, акционерное общество Айваз и другие «приложили к этому руки» нанятых ими рабочих.

Добыча сульфата производилась в те времена кустарными способами, однако в некоторых случаях в довольно широких размерах. Например, от общества Айваз после революции остались невывезенными около 25 000 *т* мирабилита... Началась война, и Кара-Богаз-Гол был забыт. Только редкие кочевники появлялись у него зимой. Но и они не задерживались на угрюмых берегах и уходили дальше, к Красноводску.

Залив бушевал в одиночестве. Но вот встал на ноги подлинный хозяин земли. Весь в поту и грязи, покрытый ранами, обливаясь кровью, он ещё ожесточённо боролся с наседавшими со всех сторон остервенелыми беспощадными врагами. Но уже хозяйским глазом он окидывал завоёвываемую им шестую часть мира, уже прикидывал, как он будет владеть своим достоянием, когда злобные, ещё сильные, но обречённые историей на гибель враги испустят под его несокрушимыми ударами своё смрадное дыхание или отступят для того, чтобы зализывать свои раны и втихомолку готовить новое, может быть, ещё более ожесточённое, но также безнадёжное нападение. Глазом пролетариата был глаз Ленина. Гениальный вождь концентрировал в себе оценки, думы и чаяния трудового народа. Уже в 1918 г. В. И. Ленин писал: «Российская Советская Республика находится постольку в выгодных условиях, что она располагает — даже после Брестского мира — гигантскими запасами руды (на Урале), топлива в Западной Сибири (каменный уголь), на Кавказе и на юго-востоке (нефти), в центре (торф), гигантскими богатствами леса, водных сил, сырья для химической промышленности (Карабугаз) и т. д. Разработка этих естественных богатств приёмами новейшей техники даст основу невиданного прогресса производительных сил» (В. И. Ленин, Соч., т. XXII, стр. 453).

В 1921 г. для изучения Кара-Богаз-Гола была отправлена экспедиция, во главе которой стал Н. И. Подкопаев, изучавший залив ещё в 1909 г.

Экспедиции Андрусова — Лебединцева и Подкопаева, а также дальнейшие исследования показали, что благодаря сильному испарению, которое в жаркое время года испытывают в Карабогазском заливе непрерывно вливающиеся в него воды Каспийского моря, концентрация солей, растворённых в морской воде, возрастает во много раз[1]. Например, концентрация сернокислого магния в Каспийском море составляет около 0.3%, а в Карабогазском заливе она достигает 3%, т. е. увеличивается в 10 раз. Содержание важнейших солей в верхних слоях вод Кара-Богаз-Гола на 100 частей воды выражается следующими цифрами:

	А. Лебединцев 1897 г.	Н. Подкопаев 1909 г.	Н. Подкопаев 1921 г.
Na_2SO_4	4.19	5.26	4.57
$NaCl$	9.28	10.42	13.31
$MgCl_2$	5.47	5.84	5.85

Кроме названных солей, в водах Кара-Богаз-Гола накапливаются соединения брома, редких элементов, благородных металлов. Концентрация брома составляет 155 *г* на 1 $м^3$ воды, между тем в Америке считается выгодным добывать бром из водных растворов, содержащих его соли, если концентрация этого элемента достигает только 70 *г* на 1 $м^3$. Хлористого магния в виде кристаллогидрата $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, который является единственным сырьём для производства металлического магния, из Кара-Богаз-Гола можно получить громадное количество.

---

[1] Удельный вес воды Кара-Богаза, благодаря большой концентрации солей, равен 1.185. В такой воде (или, как её принято, называть, «рапе») человек утонуть не может. Купаться в заливе можно лишь тогда, когда нет ранок или ссадин на теле, так как соль разъедает эти места. После купанья следует облить тело пресной водой, иначе на коже будет налёт соли. *(Состав.)*

Таким образом, в Кара-Богаз-Голе непрерывно совершается накопление минеральных богатств. Если тратить эти богатства, они будут нарастать всё вновь и вновь. Этот суровый свинцово-серый залив сравнивают с золотым дном, называют его морем белого золота, драгоценной жемчужиной в сокровищнице Советского Союза. Кто-то удачно сказал, что Кара-Богаз-Гол представляет собой для СССР сказочный неразменный рубль, всегда возвращающийся после каждой его затраты.

Интересно ведёт себя в Кара-Богаз-Голе «удивительная» глауберова соль. Летом она, вместе с большинством других содержащихся в его водах солей, находится в растворе. Но вот около 20 ноября температура воды падает до 6—5°,5. Раствор глауберовой соли оказывается насыщенным, и она начинает выделяться в виде кристаллов. Большая часть твёрдой соли оседает на дно залива. Чем холоднее становится вода, тем больше выделяется соли. Тяжёлые воды Кара-Богаз-Гола, набегая на его берега, также оставляют на них соль. Она скопляется там в виде громадных валов и постепенно подвергается выветриванию и обезвоживанию. Так продолжается до весны: К 10—15 марта температура воды в заливе снова поднимается до 5,5—6°, и, если никто не позаботился во-время подальше убрать дары моря с его берегов, оно снова начинает забирать свои богатства, и к июлю—августу берега оказываются начисто облизанными. Целиком исчезает и мощный слой соли, отложившийся во время холодов на дне залива. Таким образом, было очевидно, что Кара-Богаз-Гол представляет собой замечательный дар природы и может при его умелом использовании стать мощной и неисчерпаемой базой советской химической промышленности, что уже и до подробных исследований гениально предсказал В. И. Ленин.

И вот началась эксплуатация богатств Кара-Богаз-Гола при советской власти. Вначале она ещё велась кустарными способами. Не сразу были найдены и правильные организационные пути.

Сильное увеличение продуктивности в 1934 г. было вызвано применением новых способов, основанных на механизации. Раньше выброшенная морем глауберова соль собиралась ручным способом, а затем, после освобождения от воды, её складывали в мешки и отправляли в порт. Производство в сильной степени зависело от условий погоды.

Наиболее важными механизированными способами добычи глауберовой соли являются: экскавация, т. е. выборка осаждённой соли с морского дна солечерпательными машинами, построенными по типу землесосов, и бассейнизация, состоящая в накачивании в тёплое время года воды из залива в специально устроенные бассейны с непроницаемым грунтом и в последующем спуске остающейся после осаждения глауберовой соли, «рапы».

Опыт бассейнизации, произведённый в 1933 г. путём использования существующей на северном берегу Кара-Богаз-Гола системы природных озёр, оказался очень удачным.

28 августа 1936 г. в «Правде» была напечатана статья, кратко обрисовывающая состояние вопроса об эксплуатации Кара-Богаз-Гола и перспективы на будущее. Вот что говорится в этой статье о том, что представлял собой Кара-Богаз-Гол уже в то время.

«В пустыне, где на десятки и сотни километров к югу и востоку ещё совсем недавно не было ни одного жилья, в песках, считавшихся непригодными для жизни, возникли заводские трубы, засверкали электрические огни, зазвучала песня рабочих, зазвенел детский смех.

Пустыня ожила.

На берегах залива выросли промыслы с рабочими посёлками. Создан целый промышленный центр — Кара-Богаз-Порт. Это — настоящий город с населением около 5000 человек, с радиостанцией, телефоном, пристанями, больницей, школами, типографией, продуктовыми и универсальными магазинами, детскими яслями, звуковым кино и т. д.

В безводной пустыне зазеленели бахчи и первые участки виноградников, заложен питомник древонасаждений для будущего озеленения Кара-Богаз-Гола.

Кара-Богаз-Голский химический комбинат будет первенцем промышленности восточного побережья Каспия. За ним должна последовать постройка азотно-туковых комбинатов, постройка заводов по переработке сернокислого калия, постройка заводов термофосфата и, наконец, постройка суперфосфатных заводов.

Развитие гидроэлектроэнергии в Кара-Богаз-Голском районе поставит в повестку дня вопрос о создании крупнейшей промышленности по выработке металлического магния.

Таким образом, уже сейчас можно предвидеть, как в недалёком будущем Кара-Богаз-Гол из унылой пустыни превратится в ведущий промышленный центр Средней Азии».

Д. М. Либов

СЕРНАЯ КИСЛОТА

1. Для чего нужна серная кислота? Не очень часто приходится нам иметь дело непосредственно с серной кислотой. Может казаться, что не так уже она нам и нужна. А между тем трудно найти другой продукт, который был бы так важен, как серная кислота.

В самом деле, присмотримся повнимательнее кругом. Предметом первой необходимости является для нас растительная пища: хлеб, овощи, крупа и т. п. Удовлетворить эту насущную потребность можно при хорошем урожае. Получить такой урожай возможно при помощи искусственных удобрений. На изготовление искусственных удобрений — суперфосфата и др. — тратится около половины всей серной кислоты, получаемой на химических заводах. Без серной кислоты мы не могли бы получать питательные вещества в достаточной мере.

А одежду? Наше платье, бельё сделаны из хлопчатобумажной, шерстяной или льняной ткани. Хлопок, лён, идущие на изготовление соответствующей ткани, тоже нуждаются в удобрениях, получаемых при помощи серной кислоты.

Кроме того, ткань требует после выхода с ткацкой машины последующей обработки — аппретуры; только тогда она получает свой настоящий вид. Аппретурная обработка производится особой массой, состоящей из сернокислого алюминия и сернокислого бария, получаемых при помощи серной кислоты.

Чтобы окрасить шерстяную или хлопчатобумажную ткань, требуется протравливание, т. е. требуется пропитать ткань такими солями, главным образом сернокислыми, которые прочно соединяются как с самой тканью, так и с красками, благодаря чему окрашенная ткань не линяет при стирке. Эти сернокислые соли без серной кислоты готовить, конечно, нельзя.

Сами краски тоже не могут быть изготовлены без серной кислоты.

Мы носим кожаную обувь. Для получения кожи из сырых шкур требуется специальная обработка: освобождение от волоса, смягчение, дубление[1], окраска. Все эти операции не могут обойтись без серной кислоты и ряда её солей, как, например, квасцов, изготовляемых при помощи серной кислоты.

Итак, в современном человеческом обществе с его громадным потреблением ни обуться, ни одеться, равно как и быть сытым, нельзя без серной кислоты.

Но, оказывается, и помыться, быть чистым тоже нельзя без косвенного участия серной кислоты.

Мы моемся каждый день мылом. Стирка белья без мыла невозможна. Мыло готовят из соды и жирных кислот. Чтобы получить жирные кислоты из жиров и очистить их, нужна серная кислота.

Вы читаете книгу, напечатанную на проклеенной бумаге, или пишете на такой бумаге и не подозреваете, что проклейка бумаги производится при помощи сернокислого алюминия, т. е. опять при участии серной кислоты.

Чернила ваши изготовлены при помощи сернокислой соли железа (железного купороса), искусственно получаемого обработкой железа (железных отбросов) серной кислотой. Значит, распространение культуры немыслимо без применения в целом ряде производств серной кислоты.

Ни один мотор, ни одна машина, ни один станок не может работать без смазочных масел. Очистка смазочных масел, керосина и других продуктов, получаемых из нефти, производится при помощи серной кислоты. Выходит, что работа наших фабрик, заводов, движение поездов, пароходов, полёт самолётов находятся в зависимости от серной кислоты.

---

[1] *Дубление* — химическая обработка кожи дубильными веществами. Дублёная кожа становится мягкой, не загнивает и водостойка.

Лужение, никелирование, серебрение, меднение производятся при помощи сернокислых солей металлов. Очистка некоторых металлов (серебра, меди и др.) производится также при помощи серной кислоты.

Для производства кислот, например уксусной и соляной, солей, неорганических и органических красок требуется серная кислота.

Фармацевтическая промышленность не может обойтись без серной кислоты.

Для производства искусственного волокна требуется всё та же серная кислота.

Исключительно велико оборонное значение серной кислоты. Взрывчатые вещества готовятся при помощи крепкой серной и азотной кислот.

Вообще область применения серной кислоты настолько обширна, что, пожалуй, легче перечислять отрасли, где серная кислота не имеет применения.

Серная кислота по своему значению является единственной в химической промышленности.

Однако за последнее время мы имеем некоторые позиции, отвоёванные у безраздельно властвовавшей над всей химической промышленностью серной кислоты. Это, во-первых, производство соды. Долгое время получали соду из сульфата натрия Na_2SO_4 — продукта, получаемого одновременно с соляной кислотой при действии серной кислоты на поваренную соль. К концу XIX в. осуществлён другой метод, более выгодный, так называемый аммиачный метод получения соды:

$$NaCl + CO_2 + NH_3 + H_2O = NaHCO_3 + NH_4Cl.$$

Таким образом, содовое производство перестало зависеть от производства серной кислоты.

Другое важнейшее крупное производство, независимое от серной кислоты, это возникшее в начале XX в. и колоссально разросшееся в настоящее время производство аммиака и азотной кислоты из воздуха. До того времени азотную кислоту получали из чилийской селитры с помощью серной кислоты:

$$NaNO_3 + H_2SO_4 = NaHSO_4 + HNO_3.$$

Таким образом, две крупные отрасли химической промышленности — содовая и азотная — вышли из-под власти серной кислоты. Во всех других областях серная кислота продолжает и в настоящее время господствовать, потому огромное значение её для всей нашей промышленности является несомненным.

II. История производства серной кислоты. Серную кислоту получают уже более 1000 лет. Вначале её получали из «зелёного камня» (железный купорос) или квасцов путём сильного нагрева (прокаливания). Так, например, из железного купороса получали тяжёлую маслянистую жидкость — купоросное масло:

$$2[FeSO_4 \cdot 7H_2O] \rightarrow Fe_2O_3 + H_2SO_4 + SO_2 + 13H_2O.$$

Первое упоминание о кислых газах, получаемых при прокаливании квасцов или купороса, встречается в сочинениях, приписываемых арабскому химику Джафар-аль-Суфи (Гебер), жившему в VIII в.

Некоторые учёные приписывают честь открытия серной кислоты персидскому химику Абубекеру-аль-Разу, жившему в X в. Более определённо говорит о серной кислоте алхимик Альберт Великий (Альберт Магнус), живший в XIII столетии.

В XV в. алхимики открыли, что серную кислоту можно получить, сжигая смесь серы и селитры. Этим способом получали серную кислоту свыше 300 лет, но небольшими количествами в ретортах и стеклянных колбах. И только в середине XVIII в., когда нашли, что свинец является материалом, весьма стойким против серной кислоты, начинают постепенно переходить от стеклянной лабораторной аппаратуры к заводскому оформлению в виде больших свинцовых коробок, или камер. В этих камерах сжигалась смесь серы и селитры. Образовавшийся серный ангидрид здесь же поглощался водой или слабым раствором кислоты, налитой в камеры. Процесс приходилось прерывать для загрузки камер. Кроме того, он сопровождался большим расходом селитры и большой изнашиваемостью камер.

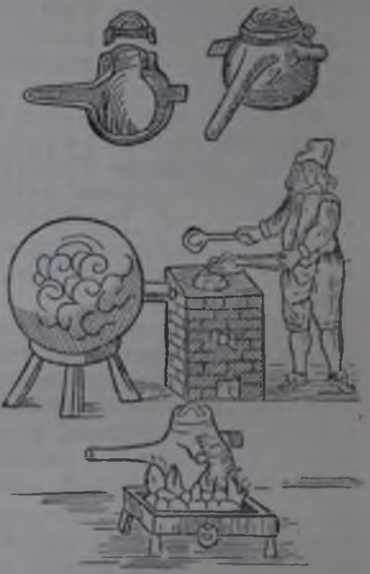


Рис. 93. Получение купоросного масла путём перегонки сернокислого железа, по Глауберу *(1648 г.)*.

Быстрое развитие производство серной кислоты получило с начала XIX в., когда химики Клеман и Дезорм выяснили сущность процесса. Они показали, что окислы азота играют роль передатчиков кислорода воздуха от двуокиси серы к трёхокиси серы. Они предложили питать камеры непрерывным током сернистого газа, для чего стали сжигать серу в отдельных печах. Вместо селитры стали употреблять азотную кислоту. Кроме того, в камеры стали вводить водяной пар. Производство становится непрерывным.

Рост производства серной кислоты был вызван быстрым развитием промышленности в XIX в. и увеличившимся спросом на серную кислоту. Однако, несмотря на ряд весьма важных усовершенствований, производство серной кислоты не могло удовлетворить этот спрос количественно, кислота обходилась очень дорого до тех пор, пока единственным сырьём для него была сера. Расход дорогостоящей азотной кислоты был также очень велик, так как большинство окислов азота безвозвратно терялось с отходящими газами. Наличие большого избытка окислов азота портило аппаратуру.

Дальнейшими работами химиков недостатки эти были устранены. Наиболее замечательными усовершенствованиями были:

1) Предложенное Гей-Люссаком устройство башни для улавливания окислов азота при помощи серной кислоты, стекающей навстречу отходящим газам. Эту башню стали ставить в конце системы после камер.

Получающуюся в башнях кислоту с растворёнными окислами азота называют нитрозой.

2) Предложенное Гловером наиболее рациональное регенерирование окислов азота из нитрозы в особой башне — «башне Гловера». Эту башню ставили в начале системы перед камерами. Выделенные окислы азота пускались в камеры, и таким образом совершался круговорот окислов азота в камерной системе.

3) Предложенное Перре и Малетром сжигание колчедана в специальных печах взамен серы. Колчедан более распространённое и более дешёвое сырьё, чем сера.

Благодаря этим усовершенствованиям производство серной кислоты стало массовым и дешёвым производством, уже похожим на производство в современных заводах.

III. Башенный способ производства серной кислоты. Конец XIX и начало XX в. ознаменовались рядом дальнейших улучшений в производстве серной кислоты. Вводятся механические вращающиеся печи взамен ручных. Большое внимание обращается на увеличение производительности, на интенсификацию При изучении реакций, происходящих в камере, было выяснено, что ускорению процесса образования серной кислоты способствует более тесное соприкосновение и перемешивание газов. Последнее можно осуществить гораздо лучше, чем в камерах, в башнях с насадкой. Поэтому интенсификацию и стали вести в направлении увеличения числа башен.

Большие успехи, достигнутые благодаря увеличению числа башен, естественно возбудили мысль о переходе на работу с такой системой, которая состояла бы из одних башен. Возникли башенные системы, получившие широкое распространение.

Уже в начале своего возникновения башни этих заводов давали высокую производительность. В последнее время благодаря исследовательским работам советских учёных и работе передовиков производства интенсификация башенных систем стала значительно выше. Высокая интенсификация в башенных системах достигается благодаря усиленной циркуляции кислоты и окислов азота. Это требует значительного расхода энергии на работу насосов и разбрызгивателей.

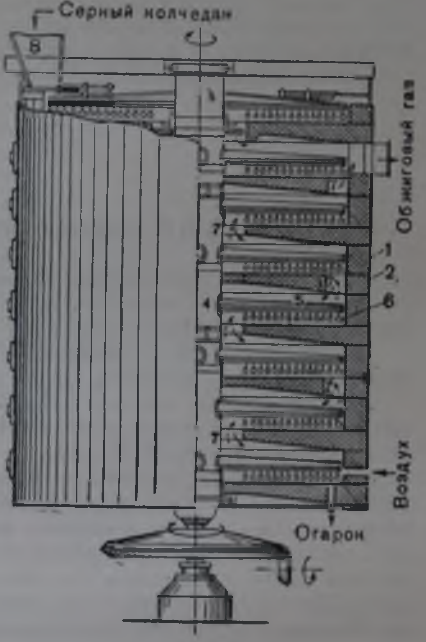


Рис. 94. Печь для обжига колчедана с вращающимися гребнями:

1 — стальной кожух; *2* — огнеупорная футеровка; *3* — кирпичные своды»; *4* — полый вал; *5* — гребок; *6* — зубья гребков; *7* — отверстия между сводами.

Камерная кислота имеет небольшую крепость — 65—68%, башенная кислота — 75—78%. Эта кислота идёт главным образом на производство искусственных удобрений. Однако в нефтяной и оборонной промышленности (производство взрывчатых веществ) и особенно в производстве органических красок требуется крепкая кислота — купоросное масло (92—94%), и особенно дымящая серная кислота, так называемый олеум, представляющий собой 100-процентную кислоту, в которой растворён избыток серного ангидрида SO_3. Название олеум она получила по своему маслянистому виду: олеум по-латыни означает «масло».

Для получения купоросного масла из камерной и башенной кислот устраивались специальные концентрационные установки. Сначала это были простые открытые аппараты — кислотоупорные чаши (чугунные, фарфоровые, платиновые), вмурованные в печь и обогреваемые снизу. Потом получили распространение аппараты, устроенные по принципу прохождения горячих топочных газов через упариваемую кислоту. На этих аппаратах получают кислоту не крепче купоросного масла (92%). Для получения олеума почти до конца XIX в. пользовались ещё старинным методом прокаливания сернокислых солей. В частности долгое время такой метод получения олеума практиковался в Германии, в Нордгаузене, где из имеющихся там залежей $Fe_2(SO_4)_3$ получали серый ангидрид:

$$Fe_2(SO_4)_3 \rightarrow Fe_2O_3 + 3\,SO_3,$$

который растворяли в серной кислоте, получая олеум.

Способ этот держался до XX в.

Д. А. Эпштейн

КАТАЛИЗ В ПРОИЗВОДСТВЕ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ

Известно, что сера, сгорая, образует сернистый газ — ангидрид сернистой кислоты. Он же образуется при обжиге серного колчедана и других сернистых металлов.

Возникает вопрос: почему при этих реакциях не получается трёхокись серы — ангидрид серной кислоты?

Задолго до того, как был найден ответ на этот вопрос, алхимики обнаружили, что можно получить серную кислоту, сжигая серу в смеси с селитрой. Позднее на основе этих наблюдений был создан «нитрозный» способ производства серной кислоты (камерный и башенный способы). Серный ангидрид и серная кислота образуются в камерах и башнях не путём окисления двуокиси серы кислородом, а «окольным» путём: окислителями служат соединения азота, кислородом же окисляется выделяющаяся окись азота. Поэтому несмотря на большие успехи в усовершенствовании башенных установок, они громоздки да и кислоту выпускают преимущественно разбавленную — 75-процентную. Между тем современная химическая промышленность нуждается в громадных количествах концентрированной серной кислоты и олеума (раствора серного ангидрида в серной кислоте). Решить эту задачу удалось только после того, как был найден ответ на поставленный вопрос.

Наука — физическая химия, даёт благоприятный ответ на вопрос о возможности окисления двуокиси серы кислородом: двуокись серы может окислиться непосредственно кислородом в трёхокись серы. Если температура не превышает 400°, окисление может произойти полностью (при атмосферном давлении). При более высоких температурах серный ангидрид становится неустойчивым и при температуре выше 1200° практически не существует под атмосферным давлением (рис. 95).

Однако окисление двуокиси серы кислородом происходит только при некоторых дополнительных условиях. Если смешать двуокись серы и кислород, то ни при комнатной, ни при повышенной температуре мы не обнаружим и следов серного ангидрида: скорость реакции равна практически нулю. Но реакция идёт, и со значительной скоростью, при нагревании смеси газов в присутствии платины, которая при этом остаётся химически неизменной. Это явление было открыто ещё в 1831 г. Практическое же значение в области производства серной кислоты катализ получил только в конце XIX в., когда возникла потребность в концентрированной серной кислоте. К тому времени было обнаружено много катализаторов реакции окисления двуокиси серы кислородом и среди них такое широко распространённое вещество, как окись железа.

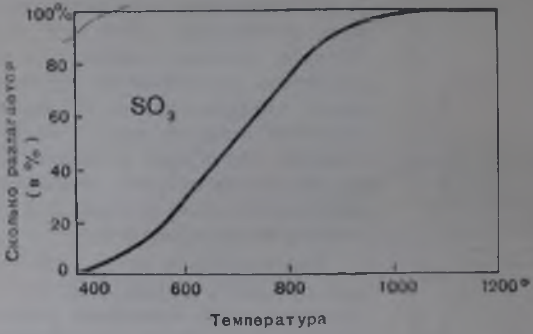


Рис. 95.

Первоначальные объяснения каталитического действия твёрдых веществ на реакции между газообразными веществами сводились к представлениям о сгущении веществ на поверхности катализаторов и взаимодействии между адсорбированными веществами. Но таким чисто физическим представлениям противоречит ряд фактов.

Если бы каталитическое действие твёрдого вещества было чисто физическим, то наилучшими катализаторами были бы всевозможные пористые материалы, безотносительно к их химическому составу. Они примерно одинаково ускоряли бы реакции между веществами, одинаково «сгущающимися» на поверхности. Опыт же показывает, что для каждой реакции характерны определённые катализаторы, а если одно и то же вещество катализирует ряд реакций, то влияние его на скорость каждой из реакций различно. Таким образом, катализатор действует специфично на скорость каждой реакции. Влияние катализатора стоит в связи с химическим составом реагирующих веществ и катализатора. Эти факты подсказывают вывод, что каталитическая активность того или иного вещества если не полностью, то в значительной степени определяется химическим взаимодействием катализатора с реагирующими веществами.

На особенности этого взаимодействия проливает свет чрезвычайно интересное явление «отравления» катализатора «ядами». Вернёмся к нашей реакции. Достаточно наличия в смеси реагентов ничтожного количества трёхокиси мышьяка, чтобы скорость каталитической реакции значительно уменьшилась. Расчёт показывает, что катализатор отравляется таким количеством яда, которое может занять ничтожную долю его поверхности. Отсюда делается вывод, что не вся поверхность катализатора обладает одинаковой «активностью». Поверхность катализатора неоднородна — на ней имеются участки различной активности. Отравляют катализатор те вещества, которые взаимодействуют с наиболее активными участками поверхности.

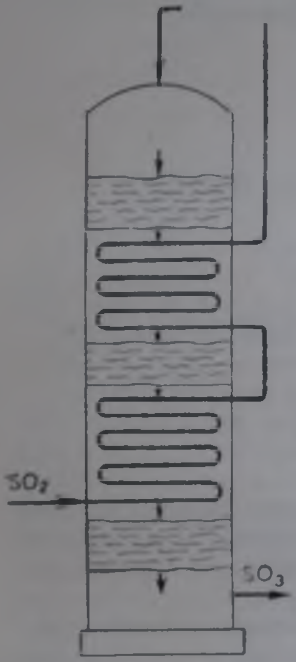


Рис. 96.

Рассмотрим в свете этих представлений сущность каталитического окисления двуокиси серы. Активные участки поверхности катализатора адсорбируют молекулы кислорода с образованием нестойких поверхностных соединений. Эти соединения обладают свойством разлагаться с чрезвычайно большой скоростью, отдавая **атомы** кислорода молекулам окисляемого вещества — двуокиси серы. Образующиеся молекулы трёхокиси серы удаляются с поверхности катализатора, освобождая место для новых актов окисления. Таким образом, чрезвычайно медленная реакция между молекулами двуокиси серы и кислорода заменяется цепью очень быстрых реакций, в которых участвует катализатор.

Первые заводы для производства серной кислоты контактным способом с использованием платины были построены в конце XIX в. В их числе был и построенный русскими инженерами завод в Петербурге, один из наиболее совершенных в техническом отношении. Теперь это ленинградский завод «Красный химик».

Платина — отличный катализатор для окисления двуокиси серы: она проявляет свою активность уже при довольно низкой температуре — 400° (вспомним, что при этой температуре трёхокись серы вполне устойчива и, следовательно, двуокись серы может полностью окислиться); она длительно сохраняет свою активность — до 15 лет при условии хорошей предварительной очистки газа и точного соблюдения установленного режима.

Но ведь платина — очень дорогой и редкий металл, а серная кислота производится в громадных количествах. Значит, платины для её производства требуется очень много, и себестоимость продукта повышается. Вот почему учёные не прекращали поисков новых катализаторов. Мы уже знаем, что такое доступное и дешёвое вещество, как окись железа, является катализатором нашей реакции. Одно время она применялась на некоторых иностранных заводах в связи с недостатком платины, но была оставлена, так как активность её недостаточна: реакция идёт при высокой температуре и остаётся много неокисленной двуокиси серы. Нужно было найти катализатор, по активности близкий к платине и в то же время дешёвый. Эти работы, в которых принимали большое участие наши советские учёные, увенчались успехом. В СССР с 30-х годов успешно применяются вместо платиновых ванадиевые катализаторы — пятиокись ванадия с некоторыми добавками. Громадный промышленный опыт показал, что на этом катализаторе можно получить высокий выход серного ангидрида. Если газ тщательно очищен от вредных примесей и поддерживается оптимальный технологический режим, то катализатор сохраняет свою активность в течение нескольких лет.

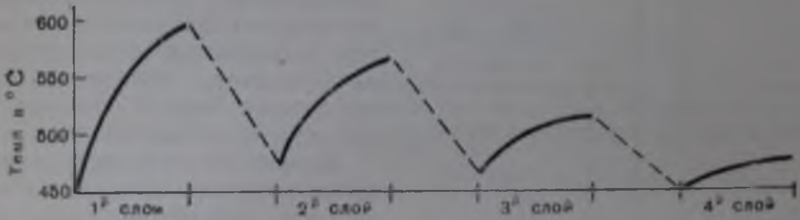


Рис. 97.

Процесс контактного окисления двуокиси серы прост. Газовая смесь, содержащая исходные вещества, после подогрева проходит через несколько слоёв катализатора. Подогрев газовой смеси осуществляется путём теплообмена с горячими продуктами реакции. На рис. 96 изображён контактный аппарат с внутренним теплообменом. В аппарате размещён на нескольких дырчатых полках катализатор, а между слоями катализатора — теплообменники. Интересно проследить, как изменяется температура реагирующих веществ по мере их перемещения в таком аппарате. Ход температуры показан на графике (рис. 97). Читая этот график, мы замечаем, что к концу реакции температуру понижают, она приближается к 450°. Это необходимо для того, чтобы полнее окислить двуокись серы.

Контактный способ производства серной кислоты связан с необходимостью очистки громадных масс газов от пыли, ядов и других примесей. Понятно поэтому, что распространение способа повлекло за собой значительные усовершенствования процессов очистки газов. В сернокислотной промышленности впервые получил широкое применение метод очистки газов в электрофильтрах, принцип действия которых и устройство показаны на рис. 98. Посредством электрофильтров газы очищают полностью от примесей при очень малом расходе энергии. Электрофильтры применяются теперь во многих отраслях промышленности. В сернокислотной промышленности они находят применение также для улавливания сернокислотного тумана, образующегося при упарке серной кислоты и при других процессах.

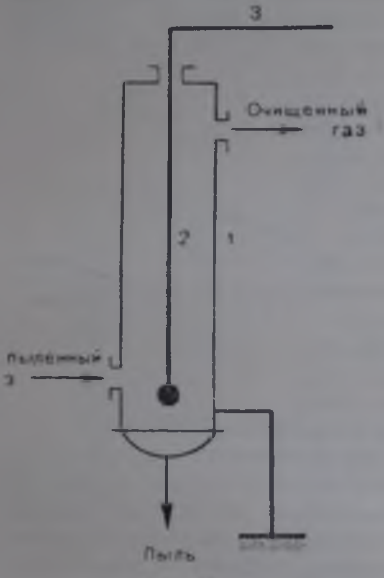


Рис. 98.

Вследствие больших достоинств, которые присущи контактному способу производства серной кислоты, доля сернокислотной продукции контактных заводов в общей её массе непрерывно возрастает.

Вслед за сернокислотным производством катализ открыл дорогу в промышленность новым очень важным процессам. Среди них назовём синтез аммиака, производство азотной кислоты, производство метилового и других спиртов, синтетического каучука, синтетического жидкого топлива. Девять десятых новых, возникших в последние 10—15 лет, химических производств используют каталитические методы. Таково значение катализаторов в современной химической промышленности.

Всё более углубляются представления и о сущности каталитических процессов. В теорию катализа очень большой вклад вносят советские учёные.

ГЛАВА VII

АЗОТ, ФОСФОР, МЫШЬЯК

> *«Азот в сложении с капитализмом — это война, разрушение, смерть. Азот в сложении с социализмом — это высокий урожай, высокая производительность труда, высокий материальный и культурный уровень трудящихся».*
>
> («Правда», 25 апреля 1932 г.)

К. Я. Парменов

«МЁРТВЫЙ» ГАЗ И ЖИЗНЬ

Азот входит в состав тела живых организмов как растительных, так и животных: он имеется в каждой живой клетке, в белковых веществах её. Жизнь без азота невозможна! Несмотря на неисчерпаемые запасы азота в атмосфере ни животные, ни большинство растений непосредственно из воздуха усваивать свободный азот не могут. Что азот имеет громадное значение в жизни растения, это было установлено учёными ещё в период между 1822—1837 гг. Но откуда берут растения азот — из почвы или атмосферы — этот вопрос долгое время оставался неясным. За разрешение этого вопроса и взялся французский учёный Буссенго. Его способ исследования получил название метода песчаных культур и с тех пор имеет широкое распространение среди ботаников и агрономов всего мира.

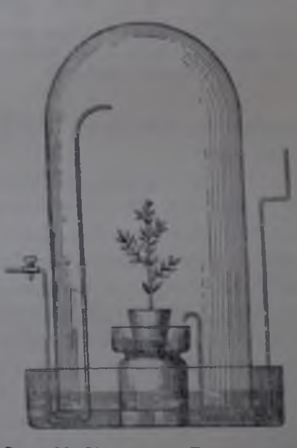


Рис. 99. Установка Буссенго для изучения вопроса о способности растений усваивать атмосферный азот.

Рис. 99 даёт нам представление о том, как ставил свои опыты Буссенго. Он брал сосуды с прокалённым песком, прибавлял туда золы семян того вида растений, над которыми производился опыт, и в эту почву сеял семена. Сосуд помещался в плоскую стеклянную чашку с серной кислотой и прикрывался большим стеклянным колпаком. Серная кислота наливалась с целью поглощения могущего проникнуть из воздуха под колпак аммиака. Под колпак вводились две стеклянные трубки: через одну растение поливалось дистиллированной водой, а через другую вводился необходимый для растения углекислый газ. После этого прибор выставлялся на свет. Под колпаком, кроме атмосферного азота, других каких-либо источников азота для растений не было. Количество азота в семенах определялось путём точного анализа таких же семян. После 2—3 месяцев от начала постановки опыта производился анализ зрелого растения: прибыли азота не наблюдалось. Отсюда следовал ясный вывод: атмосферный азот растением не усваивается. Если посадить растение в лишённую азота почву, оно так же испытывает голод, как и животное, лишённое пищи.

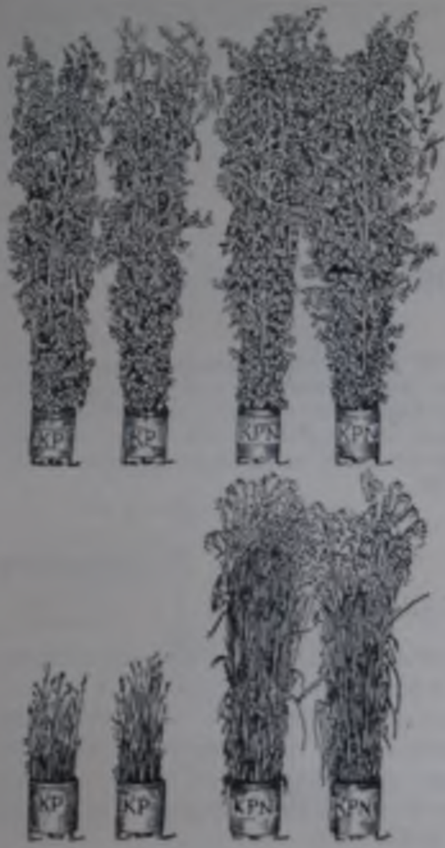


Рис. 100. Влияние азотных удобрений на злаки (внизу) и на бобовые растения (вверху).

Внесение же азота в почву в виде солей резко влияет на рост и развитие растений, что изображено на рис. 100. В качестве опытного растения здесь был взят овёс.

Но опыты над растениями семейства бобовых — горохом — показывают, что растение почти не отзывается на внесение в почву азотных соединений. Такая же картина получается, если мы возьмём и другие растения из этого же семейства: бобы, клевер, вику, чечевицу, люпин и др. Все они хорошо развиваются и без азотных удобрений; больше того, они сами как бы удобряют азотом почву: после их смерти и разложения почва становится богаче азотом. На такой почве и другие растения, чуткие к содержанию азота в почве, начинают давать лучший урожай.

Значит, каким-то образом эти растения усваивают атмосферный азот. Долгое время эта загадка не поддавалась разрешению. Но дальнейшее изучение этого вопроса выяснило любопытную особенность в строении бобовых растений: у всех них на корешках находятся особые образования в виде клубеньков, в которых, по исследованиям русского учёного М. С. Воронина (1838—1903), оказались особые бактерии, получившие название «клубеньковых бактерий» (рис. 101). Вот эти-то бактерии и оказались способными «связывать» атмосферный азот и перерабатывать его в различные азотные соединения.

За этим открытием последовал ряд других. Особенно большая заслуга в разгадке тайны питания растений почвенным азотом принадлежит русскому учёному С. Н. Виноградскому (1856—1953).

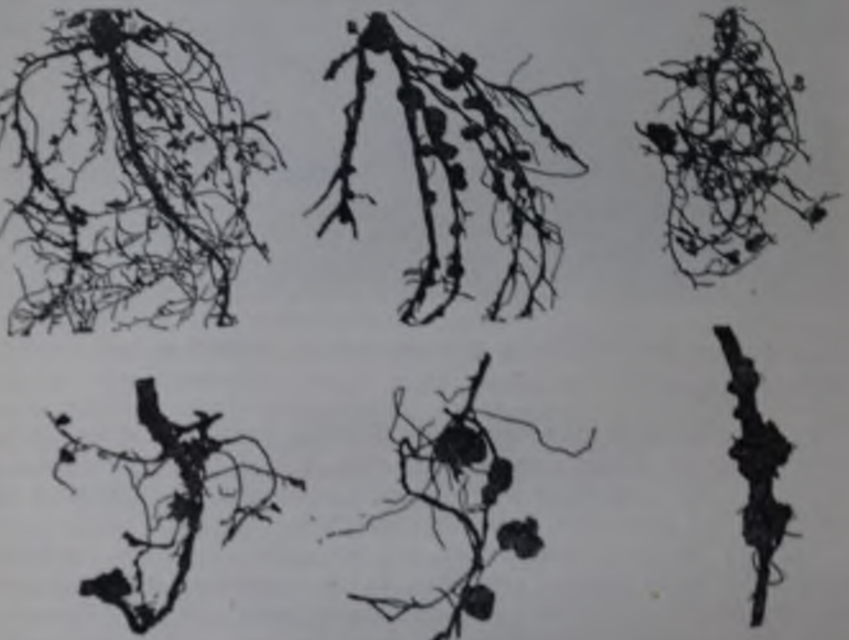


Рис. 101. Клубеньки на корнях бобовых растений.

Выяснение этого вопроса можно считать триумфом науки последнего времени. Биологи, физиологи, микробиологи и др. совместными усилиями раскрыли перед нами одну из самых интересных сторон в жизни природы. Но неясного и нерешённого здесь ещё много. Как различные бактерии усваивают азот, — по существу это и сейчас ещё нерешённый вопрос. За последние годы академику А. Н. Баху и его сотрудникам в Физико-химическом институте им. Карпова в Москве удалось выделить из мёртвых азотобактерий сок, содержащий энзимы[1] (ферменты), под влиянием которых происходит связывание азота при обыкновен-

---

[1] Энзимы образуются в клетках организмов и являются ускорителями протекающих там реакций. Ферменты являются почти всегда нестойкими соединениями и разрушаются даже при простом кипячении.

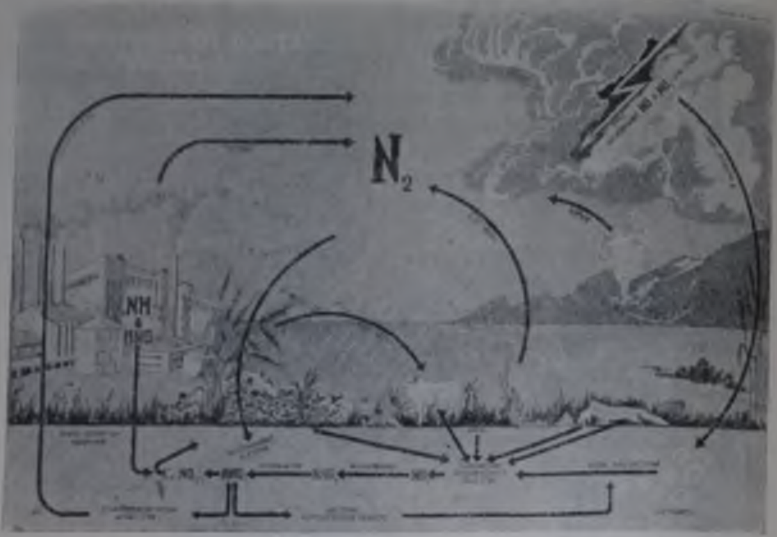


Рис. 102. Схема круговорота азота в природе.

ной температуре и давлении. Связывание азота в этом случае происходит не менее интенсивно, чем и в присутствии живых бактерий. Это открытие может иметь громадное значение и для науки и для вопросов техники связывания азота.

На азот установился взгляд, что это одно из самых инертных веществ, если не считать инертных газов: при обыкновенных условиях он не реагирует ни с большинством металлов, ни с неметаллами. Но в общем круговороте в природе азот претерпевает ряд очень многообразных превращений. На рис. 102 схематически изображён этот неизменный круговорот азота в природе. Разные авторы изображают этот цикл по-различному. Но в основном все схемы отражают одни и те же процессы. Постараемся разобраться в них.

Каковы источники пополнения почвы азотом?

1) Грозовой разряд, при котором происходит образование окиси азота; последняя, соединяясь с кислородом воздуха, превращается в двуокись азота:

$$N_2 + O_2 = 2NO;$$
$$2NO + O_2 = 2NO_2.$$

Растворяясь в дождевой воде, двуокись азота соединяется с ней химически и превращается в азотистую и азотную кислоты:

$$2NO_2 + H_2O = HNO_3 + HNO_2.$$

Азотистая кислота в дальнейшем окисляется в азотную. Эта кислота затем нейтрализуется карбонатами почвы и даёт соли азотной кислоты (нитраты), которые и усваиваются растением. Подсчитано, что в результате грозовых разрядов в почву вносится в течение года от 4 до 15 *кг* азота на 1 *га* земной поверхности.

2) Свободный азот воздуха усваивается бактериями, находящимися в клубеньках бобовых растений.

3) Азот из атмосферы усваивается свободноживущими бактериями почвы (Azotobacter), входит в состав тела бактерий.

4) Животные при жизни выделяют кал, мочу, содержащие азотистые вещества, а по смерти животного и всё тело его, содержащее белок, поступает в почву.

5) Небольшое количество азота вносится в почву плесневыми грибками и другими организмами.

Что же происходит с органическим веществом в почве?

Оно разлагается, образуя аммиак. Этот процесс проходит также не без участия бактерий особого рода и носит название аммонизации.

Наука выяснила, что в почве аммиак окисляется при участии также особых бактерий (Nitrozomonos) в азотистую кислоту HNO_2. Эти бактерии в различных странах различны по величине и форме. Затем HNO_2 окисляется уже в HNO_3. Эта работа проводится при помощи нового вида бактерий (Nitrobacter). инО уже, в отличие от Nitrozomonos, одинаковы по величине и по форме почти во всех странах мира. Так заканчивается процесс нитрификации. В дальнейшем процесс протекает по такой схеме: азотная кислота в почве нейтрализуется, образуются нитраты, они поглощаются корнями растений, образуется растительный белок, животные, съедая растение, усваивают вместе с этим и азот. Получается животный белок, этот белок попадает в том или ином виде в почву и... «история повторяется».

Это, однако, не всё. Помимо перечисленных семейств бактерий, мы имеем в почве ещё одну семейку, которая занимается обратной работой, весьма нежелательной для земледельца — разложением HNO_3 с высвобождением азота. В результате — новое явление, носящее название денитрификации. Количество связанного азота в почве поэтому уменьшается. Уменьшение это может происходить и ещё одним путём: нитриты, нитраты и соли аммония обладают очень хорошей растворимостью и поэтому легко вымываются из почвы наземными и подземными водами. Из почвы они уносятся водой в ручьи и реки, из рек — в моря, а там разлагаются (опять с помощью бактерий!), и снова получается свободный азот, поступающий в атмосферу.

При разборе схемы мы можем выделить три круга изменений, претерпеваемых азотом:

1) Большой круг: атмосферный азот → нитрификация в почве → разложение нитритов денитрифицирующими бактериями → атмосферный азот.

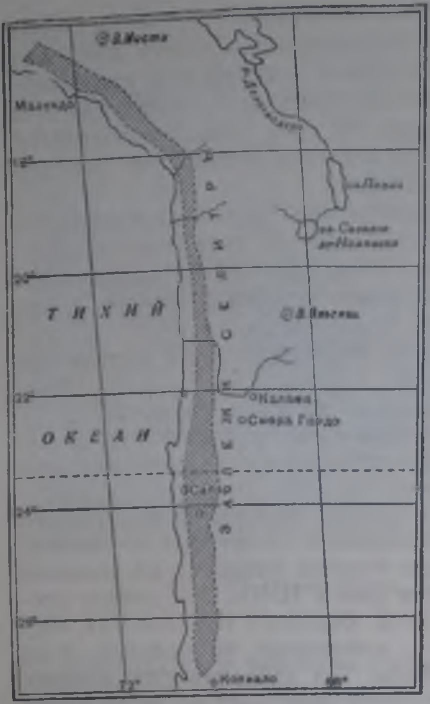


Рис. 103. Карта Чилийского месторождения селитры.

2) Малый круг: животны ← разложение тела животного и его отбросов с образованием аммиака → окисление NH_3 в HNO_2 → окисление HNO_2 в HNO_3 и образование нитратов — усвоение солей растениями с образованием растительного белка → образование животного белка → возвращение растительного и животного белка в почву.

3) Второй малый круг (подземный): почвенные нитраты → бактерии, потребляющие селитру, → белок тела бактерий → разложение тела бактерий с образованием нитратов.

Из схемы легко видеть, что можно установить и ещё ряд циклов. Отмеченные, однако, являются важнейшими.

Мы привыкли смотреть на бактерии, как на наших врагов. И врагов среди них, действительно, очень много. Но приходило ли раньше кому-либо в голову, что вся жизнь на Земле, в том числе и наша, обязана всё же бактериям?!

Несмотря на то, что мы имеем естественный путь пополнения почвы азотом, для культурных растений, особенно при сильно развитом хозяйстве, солей азота совершенно не хватает. Это прежде всего объясняется тем, что азот содержится главным образом в продуктовых частях растения (зёрнах, плодах), уносимых человеком с поля вместе с другими продуктами урожая. Азот вносится в почву с навозом, но при развитом (интенсивном) хозяйстве навозного удобрения далеко не хватает. Поэтому снабжение почв связанным азотом в виде природных или искусственных продуктов — это задача колоссальной важности.

Какие же имеются у нас на Земле запасы азотистых веществ, которые можно было бы использовать для производства искусственных удобрений?

Это, в первую очередь, селитра и затем каменный уголь.

Селитра встречается в разных местах земного шара. Самые большие запасы её находятся в республике Чили в Южной Америке между прибрежными и высокими Кордильерами (рис. 103).

Залежи её образовались, вероятно, следующим образом. Вся эта местность была некогда морским дном, а затем медленно поднялась. Огромные леса морских водорослей, накопившихся там, подверглись разложению под влиянием бактерий, которые превратили азот органического вещества в азотную кислоту, перешедшую затем в селитру. Эту теорию подтверждает наличие в селитре йодистых солей, которые, как известно, находятся в морской воде и поглощаются из неё водорослями.

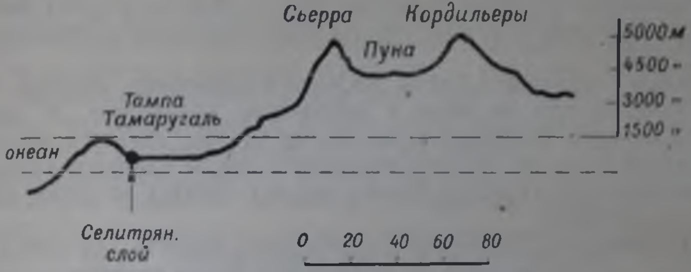

Сьерра
Кордильеры
Пуна
Тампа
Тамаругаль
океан
Селитрян.
слой
5000м
4500
3000
1500
0
20
40
60
80

Рис. 104. Разрез пустыни Атакама.

Ныне месторождения селитры в Чили представляют собой пустынную местность, называемую Атакама (рис. 105). Селитра обнаружена здесь в 1821 г.

Связанного азота в ней около 7%. Перед отправкой селитру перекристаллизовывают, почему содержание $NaNO_3$ в ней дохо-

Рис. 105. Вид в пустыне Атакама.

дит до 90%. Прежние способы работы были очень примитивны, но теперь они значительно улучшены. На рис. 106 мы видим, как развита теперь техника добычи селитры в Чили: на переднем плане — огромное хранилище с раствором селитры, на заднем плане — хранилище мутных растворов с приспособлением для разгрузки (разгрузочный мостовой кран).

Вывозиться из Чили селитра стала в 1830 г., и с тех пор её экспорт в Европу и другие страны стал вырастать с неимоверной быстротой.

Залежи селитры найдены также в Калифорнии, Африке, Малой Азии, Египте, но везде в небольшом количестве. У нас в Союзе селитра встречается во многих местах, главным образом в Средней Азии, но ни одно месторождение не является крупным промышленным. Царская Россия ввозила селитру на сотни тысяч золотых рублей.

Производство удобрений и взрывчатых веществ для войны заставляло всё увеличивать и увеличивать вывоз селитры из Чили. В 1898 г. знаменитый английский учёный Виллиам Крукс на учёном конгрессе в г. Бристоле сделал тревожное предупреждение о том, что если такими темпами будет развиваться вывоз из Чили селитры, то к 1950 г. вся селитра будет исчерпана, и мир станет перед страшной угрозой голода. Особенно, по уверениям Крукса, эта опасность сильна будет для жителей Европы, основным продуктом питания которых является пшеница, требующая большого количества азотистых удобрений. В меньшей степени

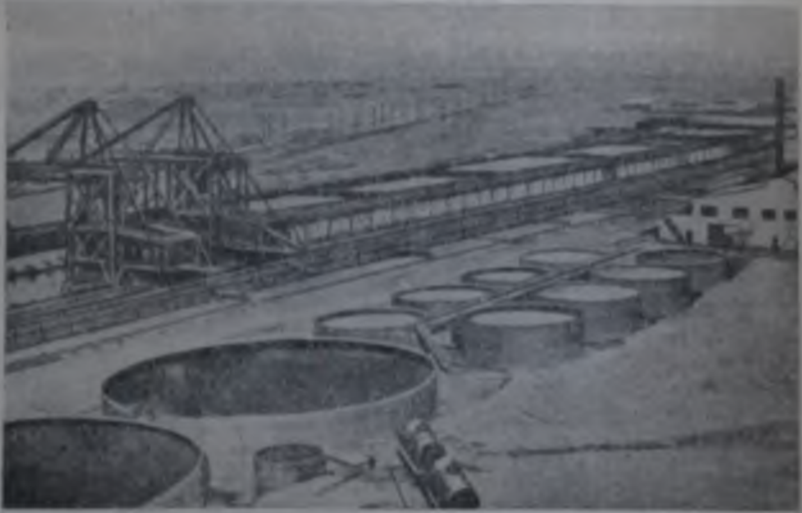


Рис. 106. Вид предприятий по переработке селитры в Чили; на первом плане хранилище с раствором селитры, на заднем — приспособление для разгрузки *(мостовой кран)*.

эта опасность грозила жителям Азии, употребляющим в пищу рис, который не требует большого количества связанного азота.

Все эти рассуждения и заявления крайне встревожили правительства, земледельцев и фабрикантов разных стран. Чилийское правительство поспешило назначить специальную комиссию по обследованию запасов селитры. Выводы комиссии были таковы, что Крукс не преувеличил опасности и что перед человечеством действительно нависает страшная угроза голодного вымирания.

Где же взять то огромное количество соединений азота, которое так необходимо для жизни животных и растений? Естественно, что мысль учёных прежде всего обратилась к земной атмосфере, в которой находится 75,5% азота по весу и 79% по объёму. Количество азота в воздухе выражается поистине «астрономическим» числом — четвёркой с 15 нулями, 4 млн. млрд. *т* $= 4{,}10^{15}$ *т*. На каждый гектар земной поверхности приходится свыше 80 тыс. *т* атмосферного азота. Как связать азот из этого практически неиссякаемого источника и превратить его в удобрения для полей?

Задачу спасения мира от голодной смерти пришлось разрешить химии. «Фиксация атмосферного азота есть одно из величайших открытий, которых надлежит ожидать от изобретательности химиков», — говорил в своём предостережении Крукс. И химия с честью разрешила поставленную задачу! Химия дала не один, а несколько способов получения связанного азота, из которых наиболее важными являются следующие три: аммиачный, цианамидный и дуговой.

В начале XX в. проблема получения связанного азота из воздуха была успешно разрешена.

Безбрежный океан азота, окружающий нашу Землю, был покорён. Страшный призрак азотного голода был уничтожен могуществом химии!

С. Н. Виноградский

КРУГОВОРОТ АЗОТА В ПРИРОДЕ[1]

Получив от Распорядительного комитета съезда в высшей степени для меня лестное приглашение резюмировать в одном из общих собраний свои исследования о микробах почвы, я решился сделать попытку набросать очерк грандиозной цепи явлений, в которых микробы эти играют первенствующую роль: я разумею цепь явлений круговорота азота.

Азот на земной поверхности то входит в состав сложной органической материи, живой и мёртвой, то образует простые неорганические соединения, аммиак и азотную кислоту, то является в свободном газообразном виде.

---

[1] Из речи, произнесённой автором на IX съезде естествоиспытателей и врачей в Москве в 1891 г.

Постоянный переход азота из одного состояния в другое есть необходимое условие поддержания жизни на Земле.

Какие средства пускает в ход природа для поддержания безостановочного круговращения этого элемента?

Ответ на этот вопрос может быть категоричен: средства эти — деятельность микробов.

С. Н. Виноградский. *(1856—1953.)*

В самом деле, представим себе их деятельность вдруг упразднённой. Что бы из этого произошло? Немедленное и глубокое нарушение круговорота азота. С одной стороны, накоплялась бы в огромных количествах сложная азотистая органическая материя, живая и мёртвая — последняя в особенности — в виде трупов, мумий растений и животных, и азот в этом виде навсегда бы остался неподвижным. С другой стороны, быстро убывал бы запас растворимых минеральных соединений азота, убывал, не возобновляясь более; и так до полного истощения. Тогда на земле прекратилась бы всякая жизнь!

Что в нарисованной мрачной картине нет преувеличений, показывают следующие соображения.

С одной стороны, деятельностью микроорганизмов обусловливается переход нерастворимого органического азота в растворимые, легко подвижные минеральные соединения его, которые, всюду циркулируя с водами и воздухом, могут служить для нового синтеза органической материи при посредстве растений.

С другой стороны, есть многие основания в пользу положения, что деятельностью микробов обусловливается не только поддержание запаса азотистых соединений вообще, но и увеличение этого запаса за счёт неистощимого резервуара газообразного азота, окружающего землю.

Эти два порядка явлений я и постараюсь рассмотреть.

Ограниченность времени оправдывает то, что я совершенно не коснусь истории воззрений на тему моей речи. Одно только имя, которое резюмирует целую новую эру в науке, я чувствую потребность сейчас же произнести — это имя Пастера! Он — учитель, его труды положили начало тем взглядам, которые только что были высказаны и дали прочное основание для изучения всех тех фактов, о которых дальше будет речь.

Начиная теперь наш очерк с явлений растворения азотистой материи, с явлений *минерализации* органического азота, мы должны прежде всего охарактеризовать группу процессов, которую можно назвать аммонизацией органического азота.

Каковы агенты этих процессов и есть ли специфические микробы, которые отщепляют азот белка и других более или менее сложных тел в форме аммиака? В ответ на этот вопрос пришлось бы перечислить очень длинный ряд всюду распространённых почвенных микробов...

Белковая материя, на примере которой мы остановимся, попадая в почву, подвергается немедленно действию бактерий, жизнедеятельность которых приспособлена к быстрому разложению белковых тел. Их много, борьба за существование здесь происходит отчаянная, процесс протекает бурно. Часть азота быстро отщепляется в виде аммиака, но большая часть его ещё остается в форме органических соединений, значительно более простого состава, чем белок. Для питания специальных разрушителей белка эти вещества уже не годны, они являются их жизненным отбросом. Тогда на смену этим первым являются другие виды микробов, которые продолжают начатое дело разложения; после этих снова новые и т. д. Процесс протекает всё медленнее и медленнее, но конечным результатом является превращение значительнейшей части органического азота в аммиак.

Необходимо, однако, сейчас же заметить, что часть органического азота при этом теряется в виде свободного азота.

Из сказанного видно, что аммонизация процесс сложный... Поэтому мы ограничимся этой краткой характеристикой его, а зато остановимся подольше на следующей ступени превращения азота в почве, значительно лучше изученной: ей дают название нитрификация.

Нитрификация — процесс образования селитры в почве — издавна занимала умы натуралистов разных специальностей: химиков, агрономов, гигиенистов. Агрономов интересовал продукт процесса, селитра, драгоценное удобрение, главная азотистая пища растений, извлекаемая из почвы их корнями. Гигиенисты видели здесь процесс, ведущий к очищению почвы и вод от разлагающихся вредных животных отбросов. Наконец, химиков занимала причина феномена: они часто задавались вопросом, отчего все азотистые органические соединения в мёртвой природе стремятся перейти в состояние азотной кислоты; отчего и аммоний, тело вполне прочное в лаборатории, так легко переходит в азотную кислоту в почве.

Все понятия о нитрификации и в особенности воззрения на причины её оставались, однако, долго очень тёмными и сбивчивыми.

В 1877 г. два французских агрономо-химика — Шлезинг и Мюнц — принялись за этот вопрос. Проникнувшись идеями Пастера, высказанными им ещё в 1862 г., они поставили себе целью исследовать, нет ли связи между явлением нитрификации и развитием каких-либо микробов. В такой простой постановке вопрос легко решается: оказалось, что нагретая до 100° или захлороформированная земля совершенно теряет способность нитрификации, которая может быть возвращена прибавлением щепотки свежей земли. Этот результат был несовместим ни с каким другим представлением, кроме того, что *нитрификация есть жизненный акт.*

Шлезинг и Мюнц попытались в дальнейших исследованиях найти микроба или микробов, которые являются действующей причиной явления...

Но нитрифицирующих микробов не находили нигде, несмотря на усердные поиски, — ни в почве, ни в водах. Вопрос затемнился снова.

То время — от 1885 г. приблизительно — было своего рода Sturm und Drang-Periode бактериологического исследования. Роберт Кох недавно перед тем научил нас очень простым и удобным приёмам изолирования и культуры бактерий; благодаря его методике эта трудная область стала доступной сразу очень многим. Ещё более: вся бактериология вдруг как бы вошла в несколько универсальных рецептов, доверие к которым было безусловно. Бактерии чуть-чуть не признавались обязанными расти в мясо-пептонной желатине, потому де, что это «очень питательная среда»: там и мясо, и пептон, и желатина, чего же ещё?!

Автор настоящей речи никогда не был приверженцем односторонней методики в бактериологии. Отдавая должное достоинствам так называемой коховской методики в известной ограниченной области, он склонен был именно слишком большому увлечению заманчивыми по своей простоте приёмами приписывать многие неудачи, между прочим и неудачу в поисках за микробами нитрификации.

Мои бактериологические исследования всегда направляло убеждение, что принцип разделения труда, *специализации функций* чрезвычайно ярко выражен в мире микробов...

В этих воззрениях меня в особенности укрепили мои наблюдения над двумя оригинальными группами микробов, о которых позволю себе сказать два слова. Свойства их в кратком изложении покажутся совершенно парадоксальными. Одни живут в сернистых ключах и вообще водах, содержащих сероводород, который они окисляют в серу и серную кислоту. Другие живут в железистых водах и окисляют закись железа в окись. Эти два и с внешней, морфологической стороны очень ярких процесса сразу бросаются в глаза наблюдателю. Но тёмным и загадочным является вопрос, почему эти бактерии, в противоположность другим, избегают органических веществ, развиваясь хорошо только в воде, почти совершенно лишённых их. Действительно, прибавлением уже небольших количеств их можно было подавить совершенно рост этих микробов и превратить свойственные им процессы окисления в процессе восстановления...

Нитрификацию как отдельный микробиологический процесс я понимал исключительно как процесс окисления уже готового аммония, и именно в отсутствии азотистой и другой органической материи. Из этого понятия, как следствие, выведены были очень простые условия культуры. Чистая вода, содержащая в растворе сернокислый аммоний и некоторые другие обыкновенно прибавляемые неорганические соли, да углекислая магнезия в избытке — вот лучшие условия для окисления аммония! Развитие специфического микроба в этих условиях было настолько роскошно, а количество сорных микробов, если можно так выразиться, так ничтожно, что открытие микроба нитрификации произошло, так сказать, само собой, без усилий.

Гораздо труднее оказалось окончательное решение задачи, обязательной для каждого микробиолога: получить «чистую культуру» микроба, т. е. такую культуру, в которой, кроме желаемого, не было бы и следа чужих видов. Окончательное устранение этих последних долго не удавалось, пока наконец употребление новой твёрдой культурной среды, опять-таки чисто минерального состава, не привело к цели. Эта новая среда была не что иное, как упомянутый раствор солей, желатинированный студенистым кремнезёмом. И в этих условиях микроб развивался прекрасно, образуя характерные колонии.

Успешное выполнение задачи изолирования микроба, окисляющего аммиак, не привело, однако, к полному выяснению вопроса о нитрификации. Наоборот, исследователь встретился с новой загадкой.

Уже в самом начале наблюдений по этому вопросу было замечено, что селитра образуется из аммония как будто не сразу, а промежуточной ступенью является нитрит, который накопляется нередко в очень значительных количествах в растворе. Но через более или менее продолжительный промежуток времени после исчезания аммония исчезает и нитрит, окисляясь в нитрат...

Приходилось искать нового объяснения причины образования нитратов в природе.

Почти одновременно нами был открыт *специфический микроб, окисляющий азотистокислые соли в азотнокислые,* потому что нами было доказано, что в его отсутствие нитриты так же постоянны в земле, как и в жидкости, а при условии его присутствия и роста они исчезают отовсюду до последних следов,. окисляясь в селитру.

Свойства этого микроба вполне аналогичны со свойствами первооткрытого микроба нитрификации, и окислительная функция его так же строго ограничена: подобно тому как нитрозный микроб не трогает им приготовленного нитрита, так и нитромикроб не обнаруживает ни малейшего действия на аммиак...

Биологи, может быть, поинтересуются знать, богата ли видами нитрификационная флора земного шара или их всего два. Нитрификация — явление всемирное; интересно было познакомиться с его агентами на других материках, в других климатических и почвенных условиях, чем наши. Собраты-учёные, живущие за далёкими морями, очень любезно откликнулись на просьбу мою прислать хорошо закупоренные образчики их земель. Я получил их из Африки (Алжирия и Тунис), из Азии (Япония и Ява), из Южной Америки (Бразилия и Эквадор) и из Австралии (Мельбурн). Везде я нашёл нитрификационных микробов, соответствующих нашим. Морфологические свойства некоторых из них явственно отличали их от наших; всего можно было отличить, однако, не более трёх-четырёх видов или разновидностей. Но физиологические свойства этих экзотических микробов ничем не отличали их от европейских, и, следовательно, мы вправе сделать заключение, не лишённое ширины, что *везде, по всему лицу земли, процесс нитрификации управляется организмами одного типа и везде в главных чертах остаётся себе подобным.*

Проследив теперь самые обычные, легче доступные наблюдению фазы круговращения азота, обратимся ко второй половине нашей программы и спросим себя: какими средствами обеспечивает природа азот живым существам в нужном количестве и в удобной для ассимиляции форме? Чем регулируется запас этих соединений? Не убывает ли он и может ли он пополняться за счёт свободного азота атмосферы?

Чтобы возможно проще и быстрее войти в соображения по этим вопросам, представим себе какой-нибудь изолированный участок земли — остров, потерянный среди моря. Представим себе на этом участке определённый запас азотистых соединений в виде органической материи, живой и мёртвой, в виде аммиака и азотной кислоты. Может ли там вечно продолжаться очерченный выше круговорот? Если да, то известное выражение Вольтера (мы едим наших предков) довольно точно соответствует действительности. Ответ на вопрос, однако, будет отрицательный. Запас азотистых соединений будет истощаться на нашем острове, истощаться быстро, и жизнь там должна прекратиться, если не будет притока готовых азотистых соединений извне или образования их прямо за счёт атмосферного азота.

Истощение будет происходить от двух причин. Первая причина — это лёгкая подвижность селитры в почве: вода легко вымывает эту соль и уносит её в ручьи, реки и моря. Вторая причина — потери азота в свободном виде, которые всегда происходят при разложении и нитрификации азотистой материи. Потери эти значительны: они колеблются между 10 и 15% и могут достигнуть и 20%.

Первая из этих причин, именно вымывание селитры, будет, очевидно, иметь последствием местную убыль соединений азота:

данный участок будет отдавать их другим частям земного шара. Вторая же причина ведёт к общей убыли запаса азотистых соединений на земле.

Местная потеря, происходящая от вымывания селитры из почвы, к сожалению, очень велика. Чтобы судить о размерах этой потери, достаточно привести несколько примеров относительно содержания селитры в воде источников и рек. По многочисленным анализам Буссенго оказывается, что почвенные воды содержат довольно много селитры. Он приводит анализ одного многоводного источника, который уносит до 400 *кг* селитры в сутки. Сена во время мелководья уносит в море 71 000 *кг*, а в среднюю воду до 238 000 *кг* в 24 часа. Нил уносит свыше одного миллиона килограммов в сутки и т. д. Такими цифрами выражается работа микробов нитрификации!

Из этих огромных чисел явствует, что моря должны чрезвычайно обогащаться азотистыми соединениями, а суша беднеет. Он невольно ищет компенсации такого одностороннего явления. Интересная попытка в этом направлении сделана Шлезингом, который дал так называемую *теорию циркуляции аммиака* на земной поверхности. Не могу отказать себе в удовольствии передать её сущность в нескольких словах.

На суше, говорит Шлезинг, химические процессы происходят большей частью при неограниченном доступе кислорода, поэтому на ней господствуют явления окисления. Море, напротив, — среда, в которую кислород сравнительно мало проникает: там должны господствовать явления восстановления. Если сушу можно сравнить с огромной селитряницей, отдающей морям ежедневно миллион тонн селитры, то деятельность моря должна быть обратная: селитра там снова превращается в аммиак. Действительно, содержание аммония в морской воде довольно значительно (около полумиллиграмма в 1 *т*), напротив селитры совсем немного. Аммиак — газ легко летучий, и хотя вода жадно поглощает его, но, в зависимости от температуры, от давления, может отдавать его воздуху. Аммиак морскими ветрами несётся на материки и падает на землю с дождём и снегом, поглощается влажной почвой, листьями растений и идёт сейчас на нужды растительности.

По мнению Шлезинга, земля получает таким образом до 50—60 *кг* аммиака на гектар в год, не считая того, что поглощает прямо листьями растений. Местная потеря азота, таким образом, с избытком вознаграждается из атмосферы, где количества аммиака хотя малы, но где они постоянно возобновляются из огромного резервуара — моря.

Ещё важнее для химической статики нашего мира вопрос: чем вознаграждается общая убыль комбинированного азота на земной поверхности, происходящая от освобождения его из соединений в элементарном виде?

Ещё недавно, не далее 1885—1886 гг., ответ, который можно было дать на этот вопрос, не удовлетворял никого. При действии электрического разряда, говорили химики, атмосферный азот может прямо соединяться с кислородом воздуха, образуя азотную кислоту. Но много ли получается этим путём азота в виде готового соединения? Около 0,84 *кг* на гектар в год — количество ничтожное и недостаточное для вознаграждения потерь, происходящих при разложении азотистых соединений. Других же вознаграждающих причин, несомненно реальных, экспериментально показанных, известно не было.

Очень естественно, что с давних пор умы натуралистов обращались к огромному резервуару свободного азота, к атмосфере, и задавали себе вопрос, не из этого ли неистощимого источника живые существа черпают свой азот...

Объяснение это долго ожидалось! Несколько поколений натуралистов учились, что азот воздуха существует только для разбавления кислорода, что сам он ни в какие соединения не входит, несмотря на то, что его соединения очень ценны для людей. Они мирились с загадкой, откуда же накопилось столько азотистых соединений в земле.

Только за последние шесть лет положение вопроса существенно изменилось, и теперь мы, кажется, близимся к разрешению загадки, которая так долго тяготела над нашими головами. Я счастлив, что мне выпало на долю резюмировать вам достигнутые за последнее время успехи в этом важном вопросе и закончить этот обзор сообщением своих новых, ещё частью нигде не обнародованных результатов...

Первый и, надо сказать, могучий толчок исследованию фиксации свободного азота был дан в 1888 г. работой Гельригеля и Вильфарта. Эта работа была продолжением многолетних опытов культуры Гельригеля, и исходным пунктом её послужило наблюдение, что в почве, лишённой соединений азота, рост злаков совершенно точно соответствует количеству прибавленной в виде удобрения селитры; напротив, развитие бобовых совершенно не зависит от селитры и бывает часто необычайно роскошным в почве, совершенно лишённой соединений азота. В поисках за причиной подобного, по господствовавшим понятиям, парадоксального поведения авторы вспомнили о показаниях ботаников, которые описали на корнях бобовых особого рода органы — маленькие клубни, всегда содержащие особенного вида бактерии. Тогда авторы попробовали применить в своих культурах приёмы бактериологического исследования, то охраняя корни бобовых от заражения, то искусственно вызывая его, и пришли к тому результату, что только те растения ассимилируют свободный азот, которые дали приют на своих корнях этому специальному микробу.

Фактически материал, собранный названными авторами, был так велик и так ярко доказателен, что их заключения сразу получили право гражданства в науке...

Особенно замечательная точностью аналитических приёмов и совершенством приборов работа Шлезинга сына и Лорана, которые выращивали бобовые растения в замкнутой атмосфере и констатировали прямым газовым анализом убыль свободного азота в этой атмосфере; убыль эта точно соответствовала прибыли азота в растении и почве. Дальше некуда было идти в полноте доказательств, и новый важный факт ассимиляции газообразного азота был поставлен выше всяких сомнений.

Но как следует понимать этот процесс? Каков его химизм? Кто тут действует — бобовое растение или бактерии, или оба вместе? На эти вопросы ни одна из работ не давала никакого ответа...

Новый успех в нашем вопросе был достигнут снова Шлезингом сыном и Лораном. Продолжая свои опыты по выработанной ими методе, они натолкнулись на неожиданный факт: убыль азота в замкнутой атмосфере и прибыль его в комплекте растение + + почва получились не только при культуре бобовых, но и других растений, однако только в том случае, если поверхность почвы была покрыта низшими зелёными растениями — водорослями и мхами. При устранении этих последних прибыли не оказывалось, а при развитии их прибыль была даже и в не поросшей высшими растениями земле. Отсюда они вывели заключение, что и эти низшие зелёные растения обладают способностью ассимилировать свободный азот...

Мне казалось трудным примириться с мыслью, что ассимиляция азота составляет чуть не исключительную привилегию бобовых, что луга и степи, поросшие злаками, поля под паром, леса лишены этого блага. Мне приходило затем в голову, что случай бобовых настолько сложен и неудобен для исследования, что мы осуждены ещё долго недоумевать перед ним, если не будет открыт другой более простой факт ассимиляции свободного азота, так как нет биологического явления сложнее симбиоза, с которым мы именно имеем дело в вопросе о бобовых и их бактерии!

Наконец, принцип специализации функции микробов, их важная роль в круговращении азота, своеобразность и интенсивность вызываемых ими химических процессов заставляли предполагать, что и этот необходимый природе процесс имеет своих специальных всюду распространённых в почве агентов — бактерий.

Я искал этих микробов просто, в любой земле. Способ, который я употребил, очень прост: методическая культура в растворе, совершенно лишённом всяких следов азотистых соединений, на что было обращено особенное внимание, но содержащем легко бродящее вещество: сахар, чистую декстрозу. Здесь, как и в прежних моих исследованиях, всё внимание вначале было сосредоточено на том, чтобы найти прежде всего простые условия микробиологического опыта, при которых получается известный химический эффект, а потом уже приниматься за специальные манипуляции, имеющие целью «найти бацилла»...

Изолирование этого бацилла оказалось делом нелёгким. Оно не удавалось, пока сходство этого микроба с другими известными бациллами не навело на мысль, уже не принадлежит ли он к бактериям, развивающимися только в отсутствии кислорода воздуха, к *бактериям анаэробным*. Тогда сделана была попытка достигнуть цели культурной на твёрдом субстрате в безвоздушном пространстве, что, наконец, и привело к удаче: бацилл получился в полной чистоте.

Все эти соображения и опыты привели к культуре нового бацилла в плоском слое сахаристой жидкости и *в атмосфере чистого азота*. И этим были реализованы лучшие условия для развития бацилла, собирателя азота...

Последним продуктом процесса, как ясно уже из сказанного, является сложная азотистая материя, входящая в состав живой клетки.

Из этих немногих данных вы видите, что совершенно тёмный процесс ассимиляции азота начинает выясняться, и во всяком случае, в тех простых условиях, в каких мы его изучаем, он доступен самому точному химическому исследованию.

Теперь мы имеем, наконец, живой организм, определённый вид, о котором мы можем сказать с уверенностью: он ассимилирует свободный азот атмосферы. И есть основание думать об этом собирателе азота, что он всюду распространён, всюду может жить и всюду производит свою полезную работу, где содержание азотистых соединений падает до известного минимума.

Я не уверен, однако, что кто-либо из слушающих меня специалистов-агрономов не подумает: что может быть общего между описанными только что явлениями и тем, что происходит в природе, в почве? Тут колбочка с жидкостью, там земля; тут сахар, там совсем другое органическое вещество; да ещё безвоздушные пространства, атмосферы чистого азота — такие искусственные условия! Где в природе можно найти подобные?

Возражения эти меня не смущают. Конечно, всякий результат, достигнутый в наших маленьких лабораториях, должен затем изучаться в большой лаборатории природы. Но в колбочке лучше видно, чем в тёмных глубинах земли, и легче найти истину. А за применением её к изучению сложных естественных явлений, а потом и к практике дело не станет.

В этом убеждении меня поддерживает вся совокупность фактов, собранных мной в этом немного длинном очерке.

Если бы не эти культурные колбочки, если бы не эта вся своеобразная методика, изобретённая одним из величайших гениев науки нашего века, то недалеко ушли бы до сих пор в понимании почвенных явлений — скажем шире — химической статики нашего мира.

К. Г. Паустовский

АММИАК В БЕРЕЗНИКАХ

Первая очередь Березников состоит из цепи заводов: ТЭЦ, завод синтетического аммиака, завод серной кислоты, завод азотной кислоты, завод сульфата аммония, водонасосная станция (самая мощная в Советском Союзе) и установка для очистки воды.

Аммиак — кровь Березниковского комбината.

Завод синтетического аммиака огромен; путешествие по нему заняло у меня много времени. Исполинские корпуса тонут в северном сумраке и тишине.

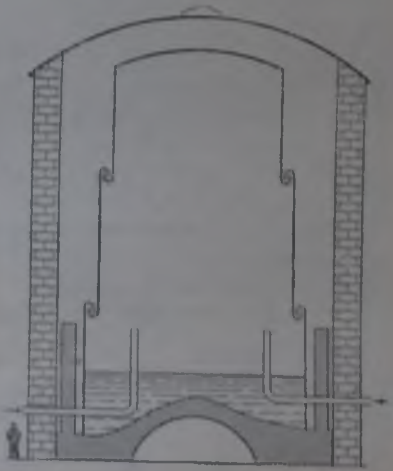


Рис. 107. Схема газгольдера.

Только сто человек управляют его гигантскими цехами.

Весь процесс производства аммиака — непрерывный, как течение реки.

Газогенераторный цех. Здесь рождается газ. Чёрная башня в 58 м высотой. Внутри башни ходит скип — элеватор для подачи кизеловского кокса наверх, в бункера, вмещающие трёхдневный запас кокса. Из бункеров кокс идёт в дробилку, а оттуда в мерные камеры. Это чугунные башни с большим круглым окном, заклеенным толстой резиновой плитой. Если газ прорвётся из печи в мерную камеру, возможен взрыв. Он предотвращается тем, что резиновый заслон раздувается от давления газа, как гигантский пузырь, и, предотвращая катастрофу, лопается, если давление газа превышает предельную норму. Газ свободно уходит в пространство.

Из мерной камеры кокс ссыпается в печь (генератор), встречается там с паром, и от этой встречи рождается газ. Он называется «сырым», или «полуводяным», газом.

Около каждого генератора на высоте трёх этажей висит в воздухе командная рубка. Там за стеклом спит «колесо времени» — автоматический и бдительный мозг всего цеха.

Процесс образования газа длится три минуты. За это время надо очень точно — с ошибкой не более, чем на десять секунд, — открыть и снова закрыть в известной последовательности пять главных задвижек, впускающих и выпускающих газ, дым, кокс и пар.

— Что будет, если запоздать на десять секунд?

— Каюк!.. — коротко отвечают химики.

Неточных и рассеянных людей сменила безошибочная машина. «Колесо времени» медленно вращается и, нажимая то на один, то на другой контакт, управляет всей системой задвижек. Но и «колесо времени» поставлено под строгий автоматический контроль. Если где-нибудь в сети случится неисправность или «колесо времени» ошибётся, оглушительная электрическая сирена даст сигнал и остановит весь процесс образования газа.

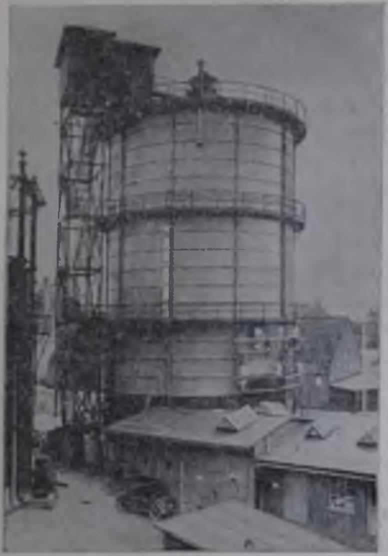


Рис. 108. Внешний вид газгольдера.

Из генератора газ идёт под водяной душ — скруббер, где его отмывают от пыли. Потом мощными насосами он нагнетается в газохранилище — большой газгольдер.

Химики говорят так:

— Как известно (хотя многим это совсем не известно), аммиак является соединением двух газов — азота и водорода. В «сыром» газе, идущем в газгольдер, 38% водорода и 22% азота, остальные проценты приходятся на углекислый газ и окись углерода. Чтобы получить аммиак, газ необходимо очистить от этих вредных примесей.

Газгольдер. Из газогенератора газ поступает в газгольдер — гигантское хранилище газа. Чертёж газгольдера прост. Каменная башня стоит над бассейном с водой, а в воде плавает перевёрнутый вверх дном железный стакан размером в семиэтажный дом.

Он состоит из трёх громадных частей, входящих одна в другую, как входят части телескопа или подзорной трубы.

Наполняясь газом, эти части подымаются над водой на высоту 35 *м*, причём первая тянет за собой вторую, а вторая — третью. Железный газгольдер растёт как невиданный воздушный шар колоссальной мощности.

Сейчас газгольдер был сложен и лежал на воде. Были видны прикреплённые к его серому куполу направляющие колёса. Они бегут по рельсам, когда газгольдер идёт вверх, и предохраняют его от перекоса. Подъём занимает 45 минут.

Водяной бассейн устроен для того, чтобы прочно запереть газ в хранилище и не дать ему возможности улетучиться снизу.

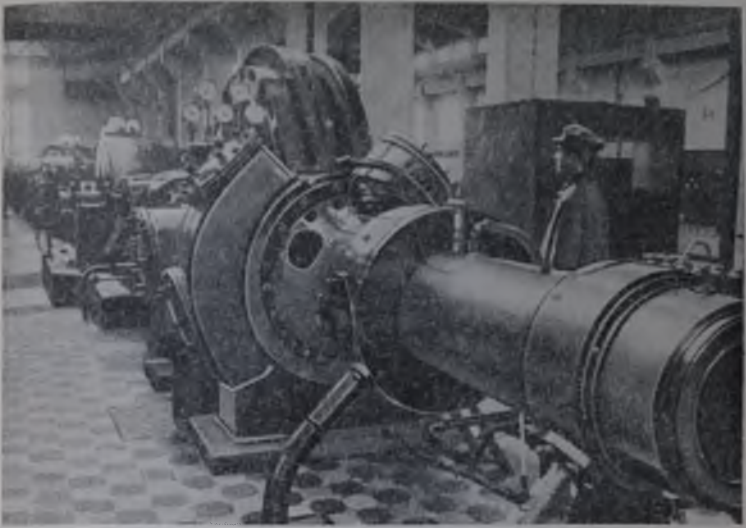


Рис. 109. Компрессорный цех Горловского завода.

Цех конверсии. Газ из газгольдера гоняют по башням, обдают паром, греют, охлаждают и добиваются того, что содержание водорода, нужного для производства, подымается в нём с 38 до 51%, а содержание ненужной окиси углерода падает с 34 до 3%. Получается новый газ — его зовут конвертированным. Он идёт в малый газгольдер, а оттуда в цех очистки, где его совершенно очищают от углекислоты и окиси углерода. В нём остаются только водород и азот.

Цех очистки — фантастический цех. Углекислый газ вымывают под давлением. В очистительные башни — скруббера — каждый час вливается 10 000 *т* свежей пресной воды, которая, впитав углекислоту, превращается в крепкую сельтерскую воду. Это — отброс производства. Двести сорок тысяч тонн, или (считая по-старому) почти полтора миллиона пудов сельтерской воды в сутки.

В скрубберах добиваются поразительной чистоты газа. Примеси допускаются лишь в размере тысячных частей процента. Если примеси будет больше, то весь процесс пойдёт насмарку.

В цехе очистки есть свой собственный Днепрогэс. В скрубберах вода падает с большой высоты под сильным давлением. По силе падения она даёт такой же эффект, как примерно столб воды, падающий с высоты 160 *м*. «Сельтерскую воду» заставляют вращать турбины. Они, в свою очередь, приводят в движение моторы и насосы, подающие в скруббера воду и газ.

Так осуществляется основная мысль, заложенная в производство: использовать всю энергию до конца и замкнуть её в поток непрерывного круговращения.

Иностранные специалисты поражены. Только мировой химический комбинат Лейна имеет, по их словам, «столь гармоническое и красивое течение производственного процесса».

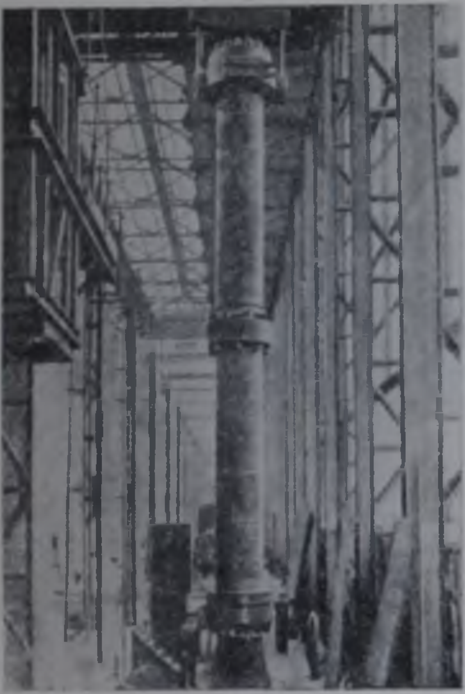


Рис. 110. Контактный аппарат на заводе синтетического аммиака.

Цех компрессии. Начальник цеха компрессии, человек на редкость неразговорчивый, пробормотал:

— Хотите — смотрите. Вон компрессоры, где очищенный газ сжимают с силой 300 атмосфер. Одним словом, дело обстоит так: здесь мы должны 10 000 *м*³ газа сжать до 60 *м*³. Собственно, вот и всё!

Это «всё» было невероятно, но такие масштабы стали будничным делом для здешних людей.

Здесь под прозаическими и уже привычными словами «газгольдер», «углеподачи», «испарительная установка», скрываются сооружения, ошеломляющие своими размерами и гениальные по вложенной в их конструкции мысли.

Цех синтеза. В последнем цеху аммиачного завода находится катализатор. Очищенный и сжатый компрессорами газ проходит под сильным давлением через трубы, где лежит катализатор, и быстро превращается в газообразный аммиак. Таково действие катализатора, который при этом нисколько не убывает.

В конденсаторах газообразный аммиак сгущается в жидкость и стекает по трубам в цистерны, порождая удушье и слезотечение.

Процесс окончен.

Жидкий аммиак превращают в химические удобрения, чтобы обогащать ими неизмеримые хлебные и хлопковые массивы Советского Союза.

(*«Великан на Каме*, 1934 г.)

Экстенсивное развитие сельского хозяйства не может продолжаться бесконечно. Совершенно естественно, что мы уже в бли-

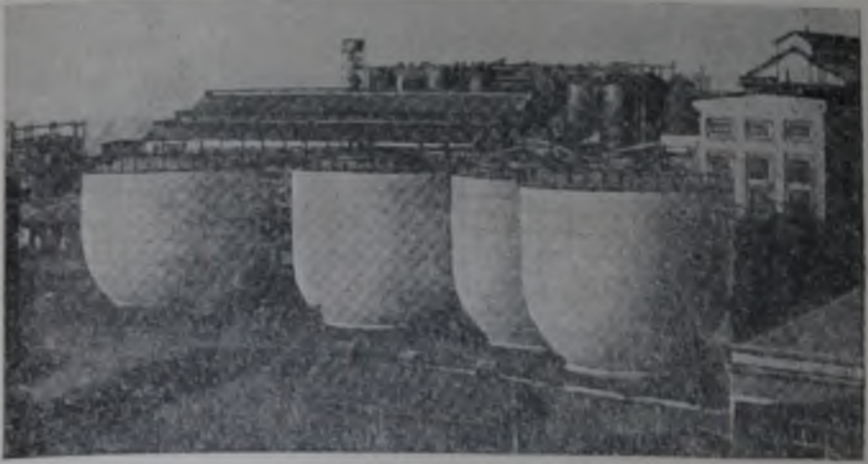


Рис. 111. Резервуары для хранения аммиака.

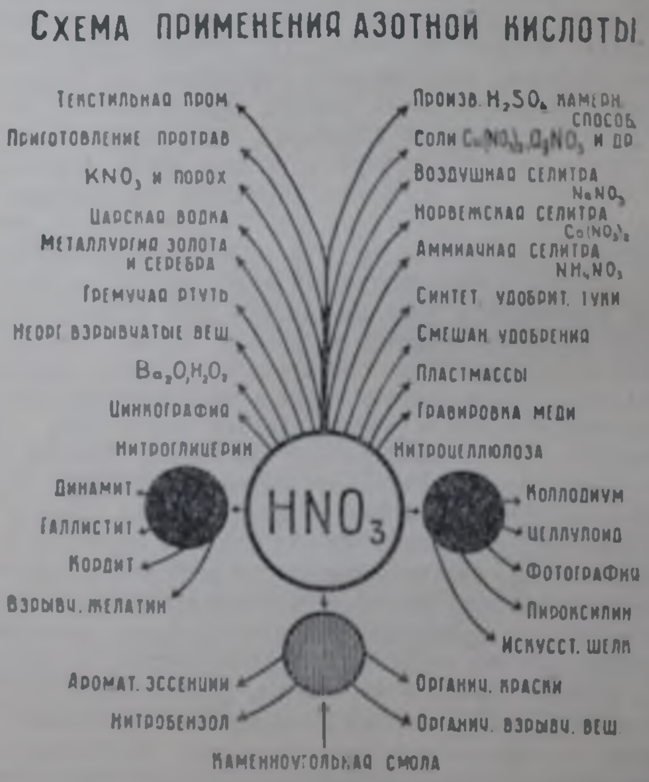


Схема применения азотной кислоты
Текстильная пром
Приготовление протрав
KNO_3 и порох
Царская водка
Металлургия золота и серебра
Гремучая ртуть
Неорг взрывчатые вещ
Ba_2O, H_2O_2
Цинкография
Нитроглицерин
Динамит
Баллистит
Кордит
Взрывч. желатин
Произв. H_2SO_4 камерн способ
Соли $Cu(NO_3)_2, AgNO_3$ и др
Воздушная селитра $NaNO_3$
Норвежская селитра $Ca(NO_3)_2$
Аммиачная селитра NH_4NO_3
Синтет. удобрит. туки
Смешан удобрения
Пластмассы
Гравировка меди
Нитроцеллюлоза
Коллодиум
Целлулоид
Фотография
Пироксилин
Искусст. шелк
HNO_3
Аромат. эссенции
Нитробензол
Органич. краски
Органич. взрывч. вещ.
Каменноугольная смола

Рис. 112. Схема применения азотной кислоты.

жайшие годы придём, по некоторым культурам уже теперь пришли, к необходимости применения огромного количества удобрений. Земля начинает жаждать не только орудий, машин, тракторов, земля начинает жаждать удобрений, которые должны быть даны сейчас, в особенности для технических культур.

(Из доклада т. *Куйбышева* на XVI съезде ВКП(б).)

К. Я. Парменов

ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ ФОСФОРА

Фосфор был открыт гамбургским алхимиком Геннингом Брандом.

Бранд был гамбургским купцом, жил в новой части города на Михаэльплаце, был женат, вёл очень широкий образ жизни, разорился, впал в долги и для поправления своих дел решил попытать счастья в занятиях алхимией. Проработав долгое время безуспешно, он задумал заняться поисками «философского камня». Прежде всего Бранд решил поискать это таинственное вещество в продуктах живого организма. По целому ряду соображений, главным образом мистического характера, он избрал для этой цели мочу. Выпарив почти досуха, Бранд подверг её сильному нагреванию, при этом он наблюдал, что получается белое вещество, сгорающее с образованием белого дыма. Бранд решил собрать это вещество и начал нагревать высушенную мочу без доступа воздуха. В 1669 г. его работа увенчалась неожиданным открытием: в приёмнике реторты образовалось своеобразное вещество, которое имело противный вкус, слабый чесночный запах, по виду напоминало воск, плавилось при лёгком нагревании и выделяло пары, светящиеся в темноте. Бранд провёл рукой по веществу — пальцы стали светиться в темноте, бросил его в кипящую воду — пары превратились в эффективные сияющие лучи. Всё, что соприкасалось с полученным веществом, приобретало способность к самостоятельному свечению. Можно себе представить, сколь велико было изумление мистически настроенного Бранда, воспитанного на вере в философский камень.

Так был открыт фосфор. Бранд дал ему название kaltes Feuer (холодный огонь), иногда называя его любовно «мой огонь». И хотя с помощью нового светоносного вещества Бранд не мог произвести ни одного превращения неблагородного металла в золото или серебро, всё же «холодный огонь» принёс ему весьма значительную выгоду. Бранд очень ловко использовал тот громадный интерес, который был возбуждён открытием фосфора среди учёного мира и широкой публики. Он начал производить фосфор в довольно значительных количествах. Способ его получения был облечён им в строжайшую тайну. Бранд показывал новое вещество за деньги и продавал его небольшими порциями на вес золота и даже выше. В 1730 г., т. е. через 60 лет после открытия, унция (31 *г*) фосфора стоила в Лондоне 10,5, а в Амстердаме 16 червонцев. Неудивительно поэтому, что очень многие бросились производить различные опыты, стремясь раскрыть тайну Бранда.

Особенно заинтересовался фосфором немецкий химик, профессор Виттенбергского университета, Иоганн Кункель (1630—1703). Во время путешествия он встретился со своим другом, химиком Крафтом из Дрездена и уговорил его купить у Бранда секрет, чтобы извлечь из него пользу. Крафт посетил Бранда, и ему удалось купить секрет приготовления фосфора за 200 талеров[1]. Однако Кункель от этой сделки ничего не выиграл: Крафт не поделился с ним полученным секретом, а начал ездить по дворам курфюрстов, показывая, подобно Бранду, фосфор за деньги и наживая на этом деле громадные суммы.

Весной 1676 г. Крафт устроил сеанс опытов с фосфором при дворе курфюрста Фридриха Вильгельма Бранденбургского. В 9 часов вечера 24 апреля все свечи в помещении были погашены, и Крафт показал присутствующим эксперименты с «вечным огнём», не открыв, однако, метода, с помощью которого было приготовлено это волшебное вещество.

Весной следующего года Крафт приехал ко двору герцога Иоганна Фридриха в Ганновер, где в это время в качестве библиотекаря служил немецкий философ и математик Лейбниц (1646—1716). Крафт и здесь устроил сеанс опытов с фосфором, показав, в частности, две склянки, которые светились, подобно светлякам. Лейбница, как и Кункеля, чрезвычайно заинтересовало новое вещество. На первом сеансе он спросил Крафта, не будет ли в состоянии большой кусок этого вещества осветить целую комнату. Крафт согласился, что это вполне возможно, но будет непрактично, так как процесс приготовления вещества является очень сложным.

Попытки Лейбница склонить Крафта к продаже секрета для герцога не удались. Тогда Лейбниц отправился в июле 1678 г. в Гамбург к самому Бранду. Здесь ему удалось заключить между герцогом Иоганном Фридрихом и Брандом контракт, согласно которому первый обязан был уплатить Бранду 60 талеров за раскрытие секрета процесса. С этого времени Лейбниц вступает в регулярную переписку с Брандом. Около того же времени в Гамбург приехал И. И. Бехер (1635—1682) с целью сманить Бранда к герцогу Мекленбургскому. Однако Бранда снова «перехватил» Лейбниц и свёз его в Ганновер к герцогу Иоганну Фридриху. Лейбниц был в полной уверенности, что Бранд очень близок к открытию философского камня, и потому советовал герцогу не отпускать Бранда, пока он не выполнит этой задачи. Бранд, однако, пробыл в Ганновере пять недель, приготовил вне города свежие запасы фосфора, показал, согласно договору, секрет производства и уехал.

---

[1] Серебряная монета различного достоинства, употреблявшаяся в разных странах Западной Европы с XVI в.

Около этого же времени Бранд приготовил значительное количество фосфора для физика Христиана Гюйгенса, изучавшего природу света, и отослал запас фосфора в Париж.

Бранд, однако, был очень неудовлетворён той ценой, которую дали ему за раскрытие секрета производства фосфора Лейбниц и герцог Иоганн Фридрих. Он шлёт Лейбницу гневное письмо, в котором жалуется, что полученной суммы не хватило даже для содержания его семьи в Гамбурге и оплаты путевых расходов. Аналогичные письма присылала Лейбницу и жена Бранда — Маргарита Бранд. Недоволен был Бранд и Крафтом, которому в письмах высказывал обиду, упрекая Крафта за то, что он перепродал секрет за 1 000 талеров в Англию. Крафт переслал это письмо Лейбницу, но Лейбниц посоветовал герцогу Иоганну Фридриху не раздражать Бранда, оплатить ему раскрытие секрета более щедро, опасаясь, что автор открытия в виде акта мести сообщит рецепт изготовления фосфора ещё кому-нибудь. Самому Бранду Лейбниц послал успокоительное письмо. Повидимому, Бранд получил вознаграждение, так как в 1679 г. снова приехал в Ганновер и работал там два месяца, получая еженедельное жалованье в 10 талеров с дополнительной оплатой стола и дорожных расходов. Переписка Лейбница с Брандом, судя по письмам, хранящимся в Ганноверской библиотеке, продолжалась до 1684 г.

Вернёмся теперь к Кункелю. Если верить Лейбницу, то Кункель узнал через Крафта рецепт изготовления фосфора и принялся за работу. Но первые опыты его были безуспешны. Кункель шлёт Бранду письмо за письмом, в которых жалуется, что ему был прислан очень тёмный, непонятный для другого лица рецепт. В письме, написанном в 1676 г. из Виттенберга, где в это время жил Кункель, он спрашивает Бранда о деталях процесса. В конце концов Кункель в своих опытах добился успеха, видоизменив несколько способ Бранда. Прибавив песка к сухой моче перед её перегонкой, он получил фосфор и... заявил претензию на самостоятельность открытия. В этом же году, в июле, Кункель рассказал о своих успехах своему другу, профессору Виттенбергского университета Каспару Кирхмейеру, который опубликовал по этому вопросу работу под заглавием «Noctiluca constans et pervicas fulgu rans, diusfissime guasta nunc reperta.» («Постоянный ночной светильник, иногда сверкающий, который долго искали, ныне найденный».) В этой статье Кирхмейер говорит о фосфоре, как о давно известном светящемся камне, но не употребляет самый термин фосфор, очевидно, ещё к тому времени не привившийся.

В Англии, независимо от Бранда, Кункеля и Кирхмейера, в 1680 г. фосфор был открыт Р. Бойлем. Бойль был знаком с фосфором через того же Крафта. Уже 17 мая 1677 г. фосфор был продемонстрирован в Лондонском королевском обществе. Летом того же года и сам Крафт приехал с фосфором в Англию. Бойль, согласно его собственному рассказу, посетил 15 сентября Крафта и видел у него фосфор в твёрдом и жидком виде. В благодарность за радушный приём Крафт, прощаясь с Бойлем, намекнул ему, что главным веществом его фосфора было нечто, присущее человеческому телу. Очевидно, этого намёка было достаточно, чтобы дать толчок работам Бойля. После отъезда Крафта он начал испытывать кровь, кости, волосы, мочу и 30 сентября 1680 г. его усилия получить светящийся элемент увенчались успехом. Две недели спустя Бойль доложил описание процесса получения фосфора в секретариате Королевского общества, но последний не раскрыл его до самой смерти Бойля.

Бойль начал эксплуатировать своё открытие в компании со своим ассистентом — немцем Гауквицем (1660—1741). После смерти Бойля (1691 г.) Гауквиц развернул производство фосфора в коммерческом масштабе, улучшил его и нажил огромное состояние, снабжая фосфором научные учреждения и отдельных учёных Европы. С целью установления коммерческих связей он совершил путешествие по Голландии, Франции, Италии и Германии. В самом Лондоне Гауквиц основал ставшую ещё при его жизни знаменитой фармацевтическую фирму. Любопытно, что несмотря на все свои эксперименты с фосфором, порой очень опасные, Гауквиц дожил до 80-летнего возраста, пережив трёх своих сыновей и всех лиц, которые принимали участие в работах, связанных с ранней историей фосфора.

Со времени открытия фосфора Кункелем и Бойлем он быстро стал падать в цене в результате конкуренции изобретателей. В конце концов наследники изобретателей стали знакомить за 10 талеров с секретом его производства всех желающих, всё время понижая цену.

В 1743 г. ученик Генкеля А. Маргграф нашёл ещё лучший способ производства фосфора из мочи и немедленно опубликовал его, так как промысел уже перестал быть выгодным.

В настоящее время фосфор нигде не производится по методу Бранда—Кункеля—Бойля, как совершенно нерентабельному. Ради исторического интереса мы всё же приведём описание их способа.

Гниющую мочу выпаривают до сиропообразного состояния. Замешивают получившуюся густую массу с трёхкратным количеством белого песка, помещают в реторту, снабжённую приёмником, и нагревают в течение 8 часов на голом огне, до тех пор, пока не будут удалены летучие вещества, после этого усиливают нагревание. Приёмник наполняется белыми парами, превращающимися затем в голубоватые, светящиеся, и, наконец, в приёмнике сгущается твёрдый, светящийся фосфор.

Своё название фосфор получил благодаря свойству светиться в темноте от греческих слов *Фос* — свет и *Феро* — несу, и буквально фосфор значит «светоносец». Среди некоторых русских химиков было стремление дать элементу чисто русское название «самоцвет», «светлец», но эти названия не привились.

Лавуазье в результате подробного изучения горения фосфора первый признал его за химический элемент.

Наличие фосфора в моче дало повод химикам искать его и в других частях тела животных. В 1715 г. Генсинг нашёл фосфор в мозгу. Значительное присутствие фосфора в мозгу послужило основанием для Мелешотта к утверждению, что «без фосфора нет мысли». В 1769 г. Ган нашёл фосфор в костях, а через два года Шееле доказал, что кости состоят главным образом из фосфорнокислого кальция, и дал способ получения фосфора из золы, остающейся после сжигания костей. Наконец, в 1788 г. Клапрот и Пруст показали, что фосфорнокислый кальций является чрезвычайно широко распространённым в природе минералом.

Аллотропическое видоизменение фосфора — красный фосфор — был открыт в 1847 г. Шреттером. На Всемирной парижской выставке 1855 г. демонстрировался красный фосфор, полученный уже заводским путём.

Русский учёный А. А. Мусин-Пушкин в 1797 г. получил новую модификацию фосфора — фиолетовый фосфор. Это открытие неправильно приписывается Гитторфу, который, повторив почти полностью методику Мусина-Пушкина, получил фиолетовый фосфор лишь в 1853 г.

В 1934 г. проф. Бриджмен, подвергая белый фосфор давлению до 1100 *атм*, превратил его в чёрный фосфор и, таким образом, получил новое аллотропическое видоизменение элемента. Вместе с цветом изменились физические и химические свойства фосфора: белый фосфор, например, на воздухе самовозгорается, а чёрный, подобно красному, не воспламеняется.

В. Н. Верховский

ДОБЫВАНИЕ ОГНЯ

Что может быть проще и легче, чем зажечь свечу, лампу, растопить печь? Стоит только «чиркнуть» спичкой или повернуть колёсико зажигалки, и мы уже добыли необходимый огонь. Пламя спички или зажигалки имеет уже достаточную температуру, чтобы прогреть до температуры воспламенения стеарин, впитанный светильней свечи, керосин на светильне лампы или растопку в печи, а дальше уже горение идёт само собой, за счёт выделяющегося тепла, пока не истратится горючее вещество или не прекратится доступ кислорода. Процесс зажигания для нас настолько прост и обычен, что нам даже в голову не приходит, что когда-нибудь могло быть иначе, что добывание огня могло представлять большую техническую трудность, над разрешением которой бились многие поколения людей.

Данные, которые мы имеем относительно жизни доисторического человека, показывают, что человек начал пользоваться огнём очень давно. На основании данных геологии и доисторической археологии можно считать, что человек появился в Европе примерно за 500 000 лет до нашего времени.

Установить время, когда человек начал пользоваться огнём, ещё нельзя, но во всяком случае, рядом с остатками и орудиями человека, жившего в Европе не менее как 200 000 лет назад, находят и остатки золы и угля. Человек этого периода вёл охотничий образ жизни и, вероятно, уже широко пользовался огнём для приготовления пищи, для отпугивания хищных животных, грелся у огня в холодные ночи и т. д. Остатки очагов, обгорелые кости находят и в пещерах, где жил в более позднюю эпоху пещерный человек.

Пользоваться огнём доисторический человек начал, несомненно, раньше, чем научился его добывать. Познакомиться с ценными свойствами огня человек мог случайно, например благодаря молнии, ударившей в сухое дерево. Свет и тепло, конечно, привлекли внимание человека прежде всего. Заметив, что огонь можно поддерживать, подбрасывая горючий материал, человек постепенно научился хранить огонь и им пользоваться. Вероятно, немало времени прошло до того, как человек научился добывать огонь по своему желанию. Вернее всего, что это великое открытие, сделавшее огонь настоящим культурным приобретением, досталось человеку тогда, когда он достиг уже некоторого культурного уровня и научился обрабатывать дерево. Всякий знает, что при пилении и сверлении дерева как дерево, так и инструмент сильно нагреваются. Доисторический человек для обработки дерева мог пользоваться только деревом же, костями либо камнями. Понятно, что при таких несовершенных инструментах работа подвигалась крайне медленно. Приходилось очень долго скоблить, пилить, сверлить по одному и тому же месту. Происходило сильное нагревание, и в результате получившиеся опилки могли загораться. Очевидно, это и было использовано доисторическим человеком. Что это действительно так, подтверждается способами добывания огня, которыми пользовались до недавнего време-

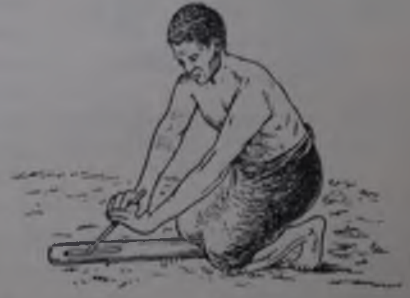


Рис. 113. Добывание огня трением сухой палки о дощечку.

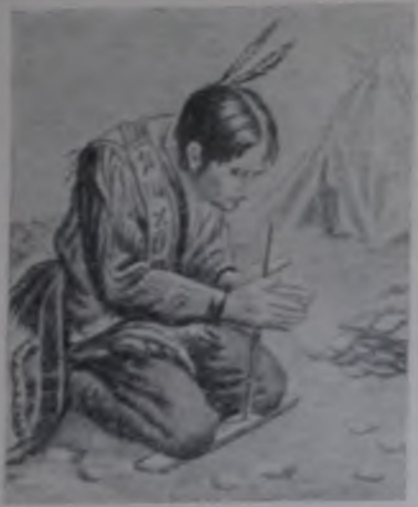


Рис. 114. Добывание огня вращением палки между ладонями рук.

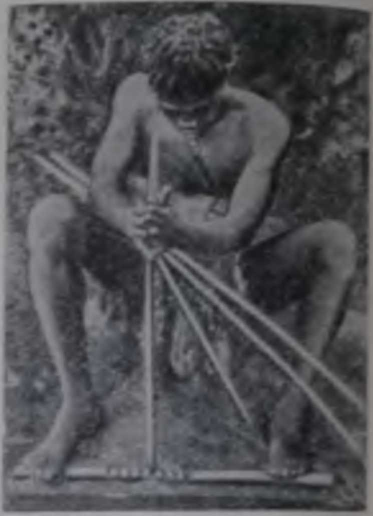


Рис. 115. Добывание огня вращением палки с помощью верёвки.

ми, австралийцы, папуасы, камчадалы, кафры и т. п. Одни из них заострённым концом сухой палки трут по сухой дощечке, другие пилят дощечкой по палке (рис. 113), некоторые упирают заострённый конец палки в дощечку и вращают палку между ладонями рук (рис. 114) до тех пор, пока образующиеся опилки не начнут тлеть. Тогда добавляют сухой мох, траву и т. п. и раздувают огонь.

Большим усовершенствованием в последнем из указанных приёмов является применение ремня или верёвочки (рис. 115). Добывают огонь вдвоём, один нажимает на палку при помощи второй дощечки или куска кости, другой тянет поочерёдно за концы ремня (рис. 116) или верёвочки, обмотанной один раз вокруг палки. Дальнейшее усовершенствование изображено на рис. 117. Концы ремня или верёвочки привязаны к согнутой палке или кости. Получается лучок, двигая которым можно вращать палку одной рукой. Этот способ применяется ненцами, которые вместо верхней дощечки пользуются костью. На кость нажимают зубами или подбородком, нижнюю дощечку придерживают одной рукой, другою же быстро двигают лучок (рис. 118). Американские индейцы устраивают нечто вроде простейшей дрели, изображённой на рис. 119. При нажимании на дощечку верёвочка то

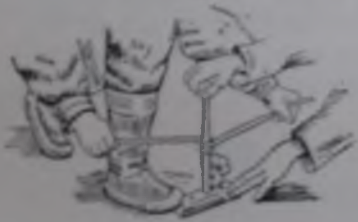


Рис. 116. «Усовершенствованный» прибор для получения огня вращением палки.

раскручивается, то закручивается, и стержень, на который для инерции насажен тяжёлый круг, быстро вращается то в одну, то в другую сторону.

Добыть одним из описанных способов огонь далеко не просто. Требуется подходящее достаточно сухое дерево и большая сноровка. В зависимости от способа и от ловкости, на добывание огня приходится затрачивать от сорока минут до трёх часов. Неудивительно, что дикари обыкновенно стараются поддерживать огонь в своём очаге, не давая ему погаснуть, а если это случается, то предпочитают не добывать огонь, а занимать его у соседей. У многих дикарей, как и у более культурных народов древности, поддержание огня связано с религиозным культом.

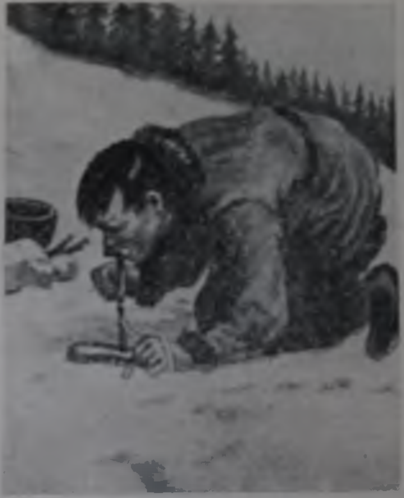


Рис. 117. Получение огня ненцами.

Следующим очень важным шагом в технике добывания огня является способ «высекания». Если ударить куском кремня или другого твёрдого камня по куску минерала серного колчедана (FeS_2), то от колчедана отбиваются мелкие частички, которые так сильно нагреваются от удара, что загораются на воздухе, и получается сноп искр:

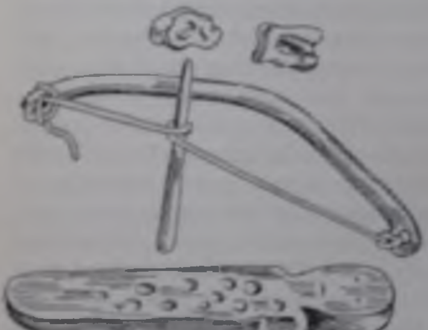


Рис. 118. «Дрель» для получения огня.

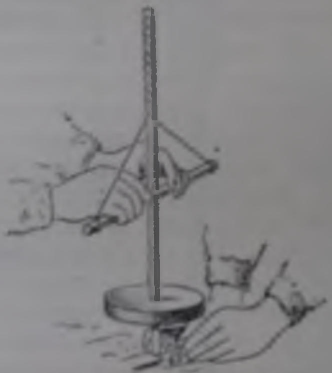


Рис. 119. Способ получения огня с помощью дрели.

$$4FeS_2 + 11O_2 = 2Fe_2O_3 + 8SO_2.$$

Этими искрами можно зажечь легко воспламеняющиеся вещества. Обычно для этой цели пользуются так называемым трутом, губчатой массой, получаемой высушиванием растущего на деревьях гриба-трутовика. Когда трут от упавших на него искр начинает тлеть, добавляют сухих щепочек и т. п. и раздувают огонь. Между прочим серный колчедан называется иначе пирит, от греческого слова «пюр», что значит огонь. Вместо пирита, применявшегося доисторическим человеком (кусочки пирита находят при раскопках вместе с другими орудиями доисторического человека), гораздо удобнее пользоваться куском стали, которая легко даёт искры при ударе о кремень. Кремень и стальное «огниво» (рис. 120) ещё применялись нашими прадедами. В настоящее время этот способ добывания огня редко можно встретить в самых глухих углах СССР.

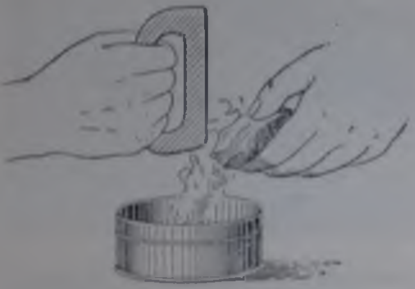


Рис. 120. Кремень и стальное кресало.

Чтобы трут лучше горел, его полезно пропитывать селитрой (KNO_3), легко отдающей свой кислород. Вместо трута часто применялся хлопчатобумажный фитиль в виде толстого шнура (обычно жёлтого цвета), также пропитанного селитрой. Можно пользоваться тряпкой, мягкой бумагой и т. п.

Со времени первобытного человека и до весьма недавнего времени высекание огня было единственным удобным способом его добывания. Нужно только упомянуть, что древним грекам и римлянам был известен ещё один способ добывания огня при помощи солнечных лучей, собранных в фокусе вогнутого зеркала или выпуклого стекла. Об этом упоминает древнегреческий учёный, математик Эвклид. По свидетельству древнегреческого историка Плутарха, вогнутым зеркалом пользовались для возжигания огня в храме Весты. О применении для зажигания увеличительного стекла упоминается в одной из комедий Аристофана. Этот способ, конечно, широкого распространения получить не мог, так как прежде всего далеко не всегда можно воспользоваться услугами солнца.

Если проследить способы добывания огня, применявшиеся в Европе, то, повидимому, до средних веков ещё пользовались добыванием огня посредством сверления и только со средних веков этот способ был окончательно вытеснен высеканием. В музеях Европы сохранился целый ряд образцов кремней и стальных огнив самых разнообразных фасонов, часто с художественной отделкой и с различными приспособлениями, вроде щипчиков для держания трута и т. п.

Лишь в начале XIX в. с развитием физических наук начались попытки использовать для добывания огня различные научные открытия. Так, выделение тепла при сжимании газа было использовано для так называемого пневматического зажигателя, состоящего из толстостенной стеклянной или металлической трубки, закрытой с одного конца. В трубку плотно входит поршень с ручкой. В сделанное на конце поршня углубление помещается кусочек трута, и затем поршнем начинают с силой сжимать воздух в трубке много раз подряд, пока трут не начнёт тлеть. Одно время в начале девятнадцатого века такие зажигатели пользовались некоторым распространением. Как физический прибор их можно найти в некоторых старых физических кабинетах. Любопытно, что подобные зажигатели до настоящего времени применяются среди даяков, на острове Борнео, а также в Бирме, Сиаме, на Яве. Повидимому, они были когда-то завезены туда из Европы моряками (а может быть и самостоятельно изобретены). Делаются они из дерева или из рога буйвола. На рис. 121 изображены отдельно поршень, разрез нижнего конца его и роговая трубка.

Из других физических и физико-химических способов добывания огня, применявшихся в начале XIX в., следует указать на электрические зажигатели. В одних при помощи искры от электрофора воспламенялся водород, добываемый опусканием цинка в серную кислоту, в других посредством электрического тока накаливалась тонкая платиновая проволочка, при помощи которой зажигалась спиртовая лампочка. Из этого типа зажигателей наибольшее распространение получил зажигатель, известный под названием «водородное огниво» и основанный на каталитическом действии губчатой платины. Прибор (рис. 122) состоит из стеклянной банки с серной кислотой, в которую погружён стеклянный колокол, укреплённый в крышке, закрывающей банку. Сверху колокол сообщается с краном. Внутри колокола подвешен кусок цинка. При нажимании на ручку крана *e* кран открывается, кислота входит в колокол и начинает действовать на цинк. Выделяющийся водород выходит тонкой струёй из отверстия крана и попадает в коробочку с губчатой платиной. В соприкосновении с последней благодаря контактному действию водород загорается. Если отпустить ручку *e*, пружина закрывает кран, водород постепенно вытесняет кислоту из колокола, пока цинк не обнажится.

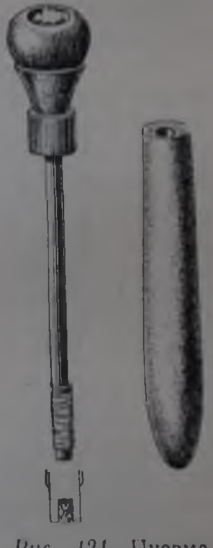


Рис. 121. Пневматический зажигатель даяков.

Все описанные зажигатели являются физическими или физико-химическими приборами, которые были слишком сложны и дороги и не могли получить широкого распространения, тем более, что они по своей громоздкости не могли конкурировать с карманными огнивами для высекания огня.

Первым чисто химическим портативным зажигателем был так называемый пирофор. Углекалиевую соль K_2CO_3, жжёные квасцы $KAl(SO_4)_2$ или смесь обоих веществ перемешивают с мелким порошком угля или с сажей и накаливают без доступа воздуха в железной трубке или нагревают продолжительное время в колбе. При этом происходит частичное восстановление калия:

$$2K_2CO_3 + C = 4K + 3CO_2.$$
$$2KAl(SO_4)_2 + C = 2K + SO_2 + CO_2 + Al_2(SO_4)_3.$$

Если охлаждённую без доступа воздуха смесь высыпать на воздух, то благодаря быстрому окислению и действию влаги воздуха на мелкораздробленный калий, он воспламеняется и может зажечь трут, вату, тряпку и т. п.

Помещённый в герметически закрытые коробочки пирофор служил одно время для добывания огня, но большого распространения не получил.

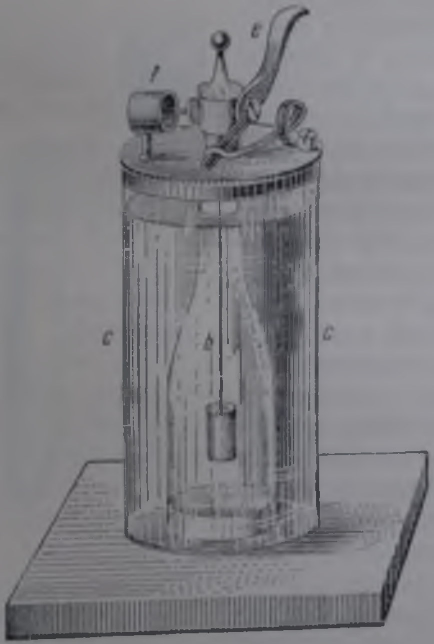


Рис. 122. Водородное огниво.

Мы встречаем целый ряд и других попыток применить для добывания огня химические реакции.

Современник **Лавуазье**, французский химик **Бертолле**, открывший хлорноватокалиевую соль $KClO_3$, называемую обыкновенно по-старинному «бертолетовой», ещё в 1806 г. заметил, что эта соль очень энергично реагирует с серной кислотой. Это наблюдение было использовано для зажигания французом **Шанселем**, который приготовил первые спички. Это были лучинки, на концы которых наносилась смесь бертолетовой соли, серы и других горючих веществ (крахмал, сахар, уголь) с клеем и высушивалась. Если такую спичку обмакнуть в крепкую серную кислоту и сейчас же вынуть, то масса начинает трещать, выделяя характерный запах и затем вспыхивает, после чего загорается и самая спичка. При этом происходит сначала реакция между серной кислотой и бертолетовой солью, сопровождающаяся выделением непрочного газа ClO_2 и кислорода:

$$4KClO_3 + 2H_2SO_4 = 2K_2SO_4 + 4ClO_2 + 2H_2O + O_2.$$

Благодаря выделяющемуся при этом теплу начинается реакция между $KClO_3$ и серой и другими горючими веществами, которые сгорают за счёт кислорода бертолетовой соли:

$$2KClO_3 + 3S = 2KCl + 3SO_2.$$

Эти спички представляли уже большой шаг вперёд — неудобство их заключалось только в серной кислоте, которая капала со спички при неосторожном обмакивании и портила вещи. Кроме того, хранить её нужно было хорошо закрытой и неудобно было носить с собой. Несмотря на это, такие «макальные» спички получили в начале XIX в. довольно широкое распространение.

Макальные спички пробовали усовершенствовать так, чтобы их можно было носить в кармане. Спичку делали в виде бумажной трубочки, в конец которой помещалась смесь с бертолетовой солью и запаянная в тонкой стеклянной трубочке капля серной кислоты. При разламывании или разбивании стеклянной трубочки смесь воспламенялась и зажигала бумагу. Но это усовершенствование было слишком сложно, спички обходились дорого и не могли получить распространения.

Однако идея спички была уже найдена. Нужно было только добиться её упрощения, над чем и началась работа изобретателей, которая привела, наконец, после многочисленных опытов в разных направлениях к старому принципу — добывания огня посредством трения. Появились в 1832 г. плоские спички с массой из бертолетовой соли с серой или сернистой сурьмой. Спичку вкладывали в сложенный пополам кусочек стеклянной или наждачной бумаги, зажимали между пальцами и затем быстро вытаскивали (рис. 123). Благодаря сильному трению масса на конце спички нагревалась и спичка загоралась. Эти спички, однако, представляли некоторую опасность, так как воспламенение смеси бертолетовой соли с серой происходит со взрывом, масса часто отскакивала, взрывалась между пальцами и причиняла ожоги. Но сам по себе принцип был верный. Нужно было только придумать массу, загорающуюся легче и сгорающую более спокойно. Такая масса была выработана в 1827 г. Эта масса содержала легко воспламеняющийся белый фосфор, бертолетову соль и клей (гумми-арабик). Масса замешивалась с небольшим количеством воды, растиралась, наносилась на спички и высушивалась. Благодаря гумми-арабику получалась плотная масса, и заключённый в ней фосфор не окислялся. К массе подбавлялась для красоты ещё какая-нибудь краска. При лёгком трении о любую твёрдую поверхность спичка загоралась.

Фосфорные спички представляли уже все необходимые удобства. Их можно было носить в кармане и легко зажигать без каких-либо приспособлений. С различными усовершенствованиями их начали фабриковать в большом количестве, и они держались долгое время, пока не были вытеснены ещё более совершенными современными спичками. Один из недостатков первых фосфорных спичек был тот, что они содержали опасную бертолетову соль и загорались с лёгким взрывом и слишком легко. Бертолетова соль была сначала заменена двуокисью свинца PbO_2, веществом, также способным отдавать свой кислород, но более прочным, чем бертолетова соль, а затем к двуокиси свинца стали подмешивать более дешёвые кислородсодержащие вещества — азотносвинцовую соль $Pb(NO_3)_2$ и сурик Pb_3O_4. Ещё дешевле оказалась масса из фосфора, селитры KNO_3 и двуокиси марганца MnO_2. Последний продукт, как известно, встречается в природе в виде минерала пиролюзита. Дальнейшее удешевление и усовершенствование зажигательной массы состояло в том, что гумми-арабик был заменён столярным клеем благодаря чему головка спички сделалась более прочной и не так легко отскакивала от спички. Кроме того масса быстрее сохла и по высыхании была менее гигроскопичной. Последнее обстоятельство было очень важно, так как отсыревшие спички плохо загорались.

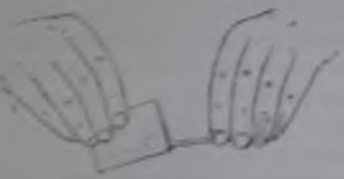


Рис. 123. Зажигание спички с массой из бертолетовой соли.

Для того чтобы горение головки легко и наверняка передавалось дереву, конец спички покрывали сначала слоем серы, а затем уже на неё наносили зажигательную массу. Отсюда пошло название «серные спички». В России эти спички были в употреблении ещё в восьмидесятых годах, и я лично очень хорошо их помню. Они имели характерный запах фосфора. Черта, проведённая фосфорной спичкой по бумаге, светилась в темноте. Зажигать их можно было трением о любую твёрдую поверхность. За неимением более подходящего места их зажигали о подошву своего сапога.

У более дорогих сортов спичек дерево, вместо серы, пропитывали воском, парафином, смолой. Спичка легко загоралась, но не издавала неприятного запаха сернистого газа.

Кроме указанных выше рецептов зажигательной массы, был испробован ряд других, но главным их недостатком был тот, что они содержали белый фосфор. Прежде всего белый фосфор — слишком легко воспламеняющееся вещество. Спички легко загорались от случайного трения при перевозке и бывали нередко причиной пожаров. Ещё больший их недостаток заключался в крайней ядовитости белого фосфора. Работа на спичечных фабриках представляла серьёзную опасность для здоровья. Рабочие, вдыхавшие пары фосфора, страдали болью в костях, особенно в челюстных, страдания кончались омертвением костей и смертью. Кроме того, нередко происходили и случаи отравления потребителей от случайно попавшейся в пищу спички, от ожогов при нередком воспламенении в руках целой коробочки спичек. Часто отравлялись малые дети, бравшие спички в рот. Одно время спичечные головки были излюбленным ядом самоубийц. В результате во многих государствах изготовление фосфорных спичек было воспрещено законом.

Белый фосфор пробовали заменить безвредным красным, но масса воспламенялась гораздо труднее, и эти спички не пошли. Вопрос был окончательно решён лишь в 1855 г., когда появились так называемые безопасные, или шведские, спички, которыми мы и пользуемся в настоящее время. Шведские спички отличаются тем, что их нельзя зажечь трением о любую поверхность, а только о коробок, покрытый с боков особой массой. Таким образом, они не могут сами собой воспламеняться. Кроме того, они не содержат белого фосфора и потому не ядовиты. Несмотря на это они далеко не сразу вошли в употребление, так как потребители привыкли уже к фосфорным спичкам, которые легко зажигались о любую поверхность, и наряду с бесфосфорными спичками долгое время применялись фосфорные, а в государствах, где они не запрещены законом, повидимому, продолжают применяться и в настоящее время.

Главная составная часть головки современной спички — это бертолетова соль, которой берётся обычно около 60%. Кроме бертолетовой соли, в массу входят горючие вещества, обычно сера или какой-либо сернистый металл, чаще всего сернистая сурьма Sb_2S_3. Для замедления горения и для предупреждения взрыва прибавляется порошок стекла или кремнезёма SiO_2, умбра (землистая краска), состоящая главным образом из окиси железа, и т. п. Наконец, в качестве связующего материала — клей. Бертолетова соль иногда частично заменяется другими, содержащими кислород веществами, например, двухромовокалиевой солью $K_2Cr_2O_7$.

В состав массы, покрывающей бока коробки — «шкурки», входит прежде всего красный фосфор, к которому прибавляется двуокись марганца или серный колчедан, а также толчёное стекло и клей.

При трении спичкой о коробку фосфор в месте соприкосновения загорается за счёт кислорода бертолетовой соли (смесь этих веществ — очень опасное взрывчатое вещество, взрывающееся со страшной силой от удара и трения). Благодаря этой местной вспышке горение передаётся головке, и она вспыхивает. Сгорает сернистая сурьма или сера за счёт кислорода бертолетовой соли.

Горение передаётся покрывающему конец спички слою серы или, в хороших сортах, парафина, а затем загорается и дерево.

При зажигании часть красного фосфора на коробке превращается, повидимому, в белый, так как спичка оставляет на коробке след, светящийся в темноте. Однако горение фосфора дальше не распространяется благодаря примешанным посторонним веществам.

Существует целый ряд различных других рецептов массы для головок «шведских спичек» и для массы, которой покрываются коробки, но неизменными составными частями их является бертолетова соль и красный фосфор.

Однако «шведская спичка», зажигающаяся только о коробку, не единственная безопасная спичка. Кроме такой спички придуманы и другие спички, не содержащие ядовитого белого фосфора, безопасные и в то же время зажигающиеся о любую поверхность. Это спички, в состав головки которых вместо фосфора входит соединение серы с фосфором, имеющее состав P_4S_3. Это жёлтое кристаллическое вещество, получаемое соединением серы с красным фосфором, не ядовитое и с температурой воспламенения около 100°. Смешанное с бертолетовой солью, окисью железа и цинка, толчёным стеклом и клеем, оно даёт хорошо загорающуюся и безопасную зажигательную массу, воспламеняющуюся при трении о любую поверхность.

Наряду с усовершенствованиями в зажигательной массе спичек шло и усовершенствование способов изготовления самой спичечной лучины и коробок. Для первых, макальных спичек лучину строгали ножом. Затем был придуман особый струг, который значительно ускорял работу. В настоящее же время существует целый ряд специальных машин. Из куска бревна (обычно применяется осина) сначала режется деревянное полотно. Деревянный цилиндр вращается около оси, и стальной нож срезает с него слой толщиной в спичку так, как мы это делаем, когда снимаем кожу с огурца или яблока. Затем другая машина раскалывает полученное полотно на спички и т. д.

Спичечная соломка вставляется машиной в отверстие стальных полос, соединённых в бесконечное полотно. Это полотно движется, огибая ряд колёс, при помощи которых спичка передвигается от одной стадии производства к другой. Полный оборот лента совершает в 45 минут. Готовые спички выталкиваются из своих гнёзд посредством железной полосы с рядом игл. Спички падают в жёлоб, из которого попадают в коробки. Освободившиеся отверстия сейчас же автоматически заполняются соломкой, которая опять передвигается и постепенно превращается в готовые спички и т. д.

Каждая машина даёт несколько миллионов спичек в день. Такие цифры нас не должны удивлять, так как расход спичек громаден. Если предположить, что на одного человека тратится в день 5 спичек и считать, что на земном шаре около 1 769 000 000 человек могут пользоваться спичками, то это составляет 3 223 425 000 000 спичек в год. Если такое число спичек положить одну за другой в одну линию, то эта линия будет больше расстояния от Земли до Солнца. Чтобы изготовить такое количество спичек, нужно срубить не меньше 12 000 000 осин, иными словами, вырубить около 450 000 *га* осинового леса.

(*«Химическая хрестоматия»*, ч. I, 1922 г.)

А. Е. Ферсман

АПАТИТ И НЕФЕЛИН

Что такое апатит и нефелин? Даже не всякий молодой минеролог знает, что это такое, и не в каждой коллекции можно найти эти два минерала.

Апатит — это фосфорнокислый кальций, но внешний вид его такой разнообразный и странный, что недаром старые минерологи назвали его апатитом, что значит по-гречески... «обманщик»: то это прозрачные кристаллики, до мелочей напоминающие берилл или даже кварц, то это плотные массы, неотличимые от простого известняка, то это радиально-лучистые шары, то порода, зернистая и блестящая, как крупнозернистый мрамор.

Не лучше обстоит дело и с нефелином. Его название связано с греческим словом «туча», «туман», ибо невзрачен, мутен и сер этот камень, и нелегко его в поле отличить от простого серого кварца.

Кто слышал несколько лет назад об этих двух камнях? А сейчас как часто встречаем мы их на столбцах газет; слово «апатит» сделалось почти нарицательным — как полярное золото. Все химические заводы ждут апатита, а поля, безграничные поля хлебов, льна, свёклы, хлопка не могут без него обойтись. Скоро в каждом кусочке хлеба будет много миллиардов атомов фосфора из нашего хибинского апатита, а алюминиевая ложка... будет из хибинского нефелина.

Вот мы сказали и второе слово — хибинский, Хибины, — и с ним тесно связана судьба советского апатита и нефелина.

Когда начала наша ленинградская молодёжь работать за полярным кругом в Хибинском массиве, в глуши болот, тайги и тундры мы нашли первые редкие камни, а среди них и зелёный апатит. Но теперь всё изменилось, и уже вырос целый новый мир — мир первой заполярной промышленной стройки.

От станции «Апатиты», новой узловой станции Кировской магистрали, мы едем на великолепном электровозе прямо в город, вдоль пенящейся Белой реки, которую мы раньше с таким трудом переходили, через леса, прямо к озеру Вудъявру, к городу

Акад. А. Е. Ферсман *(1883—1954)*.

Кировску, чудесам техники и хозяйства. Мы не успеваем оглядеться, как пересели на легковой автомобиль и по великолепной дороге едем дальше к рудникам горы Кукисвумчорр, где добывают апатит и нефелин. Влево остаётся большой Уртитовый Отрог, огромная гора, на три четверти состоящая из чистого нефелина. Далее блестят склоны Юкспора, и на 25-м километре мимо нового рудничного городка, почты, аптеки, гаража, столовой мы начинаем забирать всё круче и круче вверх. По дороге мчатся грузовики, внизу свистят паровозы.

Мы взлетаем к самому апатитовому поясу, и через три минуты мы в самом замечательном забое мира: зелёный искристый апатит с серым нефелином образует сплошную стену в 100 *м*. На 25 *км* протягивается этот замечательный пояс хибинских тундр, огибая их кольцом. Исследования показали, что апатитовая руда уходит в глубину даже ниже поверхности океана, и около двух миллиар-

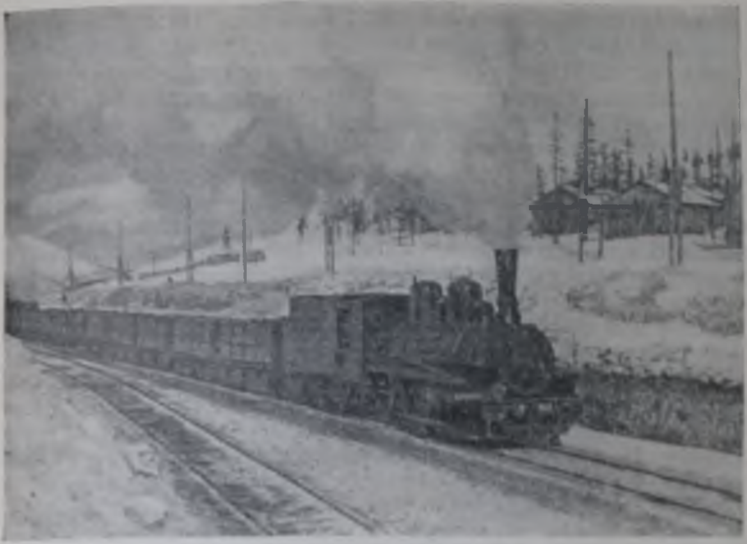


Рис. 124. Доставка апатитовой руды с рудника на обогатительную фабрику.

дов тонн этих ценнейших ископаемых накоплено здесь, в Хибинах, не имея себе равных нигде в мире.

В вагонетках отвозится искристая руда к двум бремсбергам, где на стальных тросах спускается вниз в долину реки Лопарской, чтобы там быть погруженной в вагоны.

Часть этих вагонов идёт прямо на заводы Союза, много руды грузится на пароходы в Мурманске и идёт в Англию и даже в Америку. Но значительная часть поездов идёт недалеко, — всего лишь в Кировск на фабрику, на самую большую в мире обогатительную фабрику, которая из породы даёт в год около миллиона тонн чистейшего апатита.

После размола в больших чанах наверх всплывают с пеной зелёные апатиты, а на дне остаётся серый осадочек нефелина. Чистый апатит, «концентрат», сушится и идёт дальше: из него в огромных электропечах будут получать в Кандалакше чистый фосфор и фосфорную кислоту, но пока он идёт за границу или на фосфатные заводы в Винницу и Одессу, Пермь и Константиновку, где из него готовят превосходное, первоклассное удобрение для полей.

Дайте миллионы тонн этого порошочка, приготовленного из апатита, нашим полям и лугам, рассыпьте его по грядам сахарной свёклы и хлопка — и удвоятся урожаи, увеличатся размеры свёклы, разрастутся белоснежные коробочки хлопка и нальётся зерно! Апатит — камень плодородия, камень жизни, богатства колхозов, камень будущего нашей страны...

Да, каждый кусочек хлеба, волокно льняной материи, хлопчатобумажная рубашка содержат частицы апатита, и даже сахар в нашем чае живёт нашим хибинским апатитом!

Но мы бросим его не только на поля, мы растворим его в прудах, чтобы усилить рост рыбы, мы превратим его в ценнейшее лекарство для слабых людей, усталых от работы. Мы покроем нержавеющим составом стальные крылья самолётов, мы будем улучшать бронзу и чугун при их выплавке, словом — используем апатит в десятках производств, гордясь им, как своим, советским камнем.

Но чтобы найти ему эти применения, мы должны были его очистить от нефелина и получить чистейший концентрат.

Ну, а его спутник нефелин — этот вредитель апатитовой руды, что с ним будет? Уже наши геохимики и технологи разобрались в свойствах этого камня, и оказалось, что и он получит применение в самых разнообразных отраслях промышленности, начиная с кожевенной, где он даёт прекрасный дубитель, керамической, где заменяет дорогой полевой шпат, текстильной, где делает ткани водоупорными, и кончая самым главным и важным применением, — получением из него металлического алюминия.

Уже строится на юг от Хибин, на берегу Белого моря, в Кандалакше, мощный нефелиновый завод; здесь, пройдя ряд печей и чанов, после спекания с известняком, наш нефелин разделится на три части, и мы получим из него ценнейший химиче-

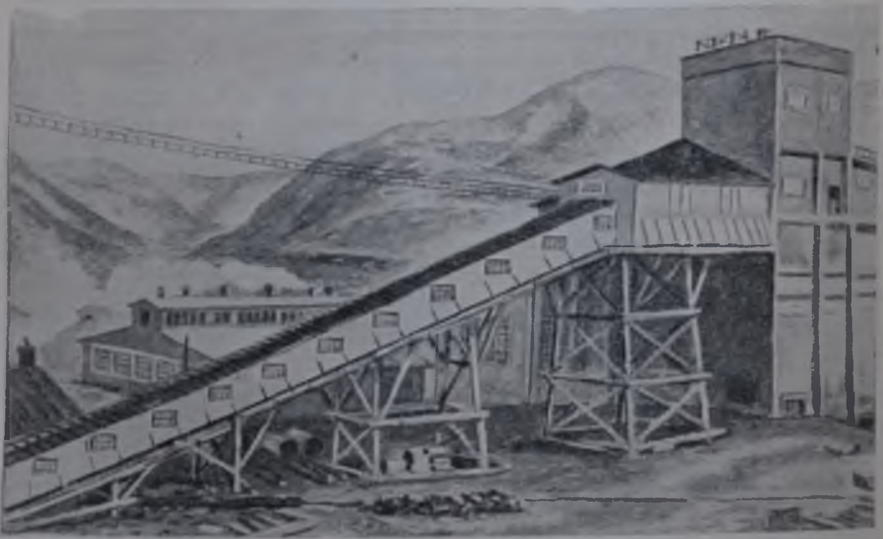


Рис. 125. Хибиногорская обогатительная фабрика.

ский продукт — соду, цемент и окись алюминия, из которой в других электрических установках родится блестящий и лёгкий металл — алюминий!

История апатита и нефелина творится людьми.

Никому неизвестные, нигде не используемые два камня сделались крупнейшими полезными ископаемыми Союза.

Партийные и непартийные большевики — геохимики, технологи, минерологи и хозяйственники — превратили их в величайшее богатство советской промышленности и культуры.

(*«Занимательная минералогия»,* 1937 г.)

В. С. Горшешников

МЫШЬЯК

Свойства мышьяка. Мышьяк — очень интересное вещество. Подобно фосфору, сере, углероду и многим другим элементам, он может быть получен в разных видах. Самым обыкновенным его видоизменением является металлический, или серый, мышьяк. Это — кристаллическая масса, по своему серому цвету похожая на сталь. Она блестит, как металл, и в $2^1/_2$ раза лучше ртути проводит электрический ток. Однако вместе с тем серый мышьяк хрупок. При нагревании до 633° он, не расплавляясь, превращается в бесцветные пары. Для того чтобы получить мышьяк в расплавленном виде, его надо нагревать под давлением. При быстром охлаждении паров мышьяка получаются мягкие прозрачные кристаллики жёлтого цвета. Это — жёлтый мышьяк. Он напоминает собою жёлтый фосфор и, подобно ему, растворяется в сероуглероде, быстро окисляется на воздухе и при этом светится.

Стоит немного нагреть жёлтый мышьяк или просто оставить его на свету — и перед вами снова уже блестит серый мышьяк. Жёлтый мышьяк очень неустойчив. Если быстро нагревать металлический мышьяк в струе водорода или пропускать соединение мышьяка с водородом AsH_3 через раскалённую стеклянную трубку, то получается чёрный мышьяк. Некоторые учёные, впрочем, считают, что чёрный мышьяк представляет собой просто обыкновенный металлический мышьяк, только измельчённый до той или другой степени раздробления.

Если нагревать металлический мышьяк на воздухе, он сгорает. Его пламя — синеватого цвета. Горящий мышьяк распространяет вокруг себя облако очень ядовитого белого дыма, состоящего из частичек трёхокиси мышьяка As_2O_3. Дым этот сильно пахнет чесноком. В кислороде мышьяк сгорает, образуя ослепительно блестящее пламя. В хлоре мышьяк, особенно в виде порошка, моментально сгорает.

И сам мышьяк и большинство его соединений очень ядовиты. Особенной ядовитостью обладают растворимые соединения мышьяка.

Для получения металлического мышьяка чаще всего применяется нагревание арсенопирита в особых (муфельных) печах без доступа воздуха.

При этом освобождается мышьяк, пары которого превращаются в твёрдый мышьяк в железных трубках, идущих от печей, и в особых керамиковых приёмниках, а в печах остаётся сернистое железо с некоторой примесью мышьяковистого железа. Остаток подвергают потом нагреванию в печах при доступе воздуха, и тогда мышьяк превращается в As_2O_3.

Применение мышьяка и его соединений в промышленности

Применение металлического мышьяка ограничивается главным образом изготовлением охотничьей дроби и шрапнельных пуль (сплав свинца с As и Sb), а также получением некоторых из употребляемых в артиллерийской технике сплавов меди и производством зеркальной бронзы. В последнем случае прибавление к бронзе 2% мышьяка способствует приобретению бронзой максимальной твёрдости и полируемости.

Мышьяк по большей части является вредной примесью к металлам. Уже 0,09% примеси мышьяка к железу сильно затрудняет сварку этого металла. Железо, содержащее 0,17% мышьяка, обнаруживает хрупкость при ковке и при сгибании. Железный предмет, содержащий 1% мышьяка, разбивается при простом падении на металлическую поверхность. Примеси мышьяка к меди отчасти вредят ей, а отчасти придают ей полезные свойства. Примесь мышьяка в количестве 0,4—0,5% устраняет пористость меди при отливке. При производстве дроби и шрапнельных пуль мышьяк добавляется к свинцу в количестве 0,4—0,8%, так как получающийся при этом сплав обладает большей твёрдостью по сравнению с твёрдостью свинца и способностью застывать на воздухе в шарообразные капли.

Гораздо большее практическое значение имеют соединения мышьяка. «Белый мышьяк» (As_2O_3) — мышьяковистый ангидрид, в технике часто неправильно называют мышьяковистой кислотой. Это соединение мышьяка главным образом и встречается на мировом рынке.

Белый мышьяк применяется для обесцвечивания стёкол. Если стекло имеет зеленоватую окраску благодаря присутствию в нём соединений железа, As_2O_3 способствует обесцвечиванию стекла так как окисляет эти соединения. При выделке кож, мехов и чучел также применяется белый мышьяк в качестве средства, предохраняющего от гниения. Соли мышьяковистой кислоты, ангидридом которой является белый мышьяк, применяются в промышленности довольно часто.

Многие соединения мышьяка представляют собой яркие краски красноватого, жёлтого и зелёного цвета. Мышьяковая жёлтая, брауншвейгская зелень, швейнфуртская зелень, шведская зелень, зелень Шееле, персидская зелень — все эти краски очень хороши по своему цвету и яркости, а также по своей способности покрывать окрашиваемые предметы, но очень опасны по своей ядовитости.

Наибольшее применение находят мышьяковые соли натрия и меди. Ими раньше окрашивали бумаги, обои, ткани, чулки, игрушки и т. п., а также применяли их в качестве малярных красок. Частички краски, отделившиеся от окрашенных материалов, входили в состав пыли, носившейся в помещениях, и служили причиной тяжёлых отравлений, нередко заканчивающихся смертью. Окрашенные мышьяковистыми красками чулки и ткани вызывали отравления кожи, соприкасающейся с красками, и также служили причиной болезней.

Мышьяк в природе. Количество мышьяка в земной коре очень невелико — всего около одной десятитысячной доли процента. Однако малые количества мышьяка могут быть найдены почти всюду в природе. В растениях, в каменном угле, в морской воде, в воде многих источников, в органах животных и человека всегда содержится мышьяк.

Находят мышьяк в волосах, ногтях, костях человека и животных, а также в различных органах растений. В земной коре мышьяк иногда встречается в самородном состоянии. Тогда он имеет вид металлически блестящих серых скорлупок или плотных масс, состоящих из маленьких зёрнышек. У нас в СССР такой мышьяк встречается на Урале. Гораздо чаще можно найти минералы, представляющие собой соединения мышьяка. Довольно часто встречаются два природных соединения мышьяка с серой: оранжево-красный прозрачный реальгар (AsS) и лимонно-жёлтый аурипигмент (As_2S_3)

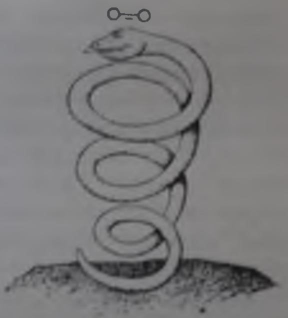
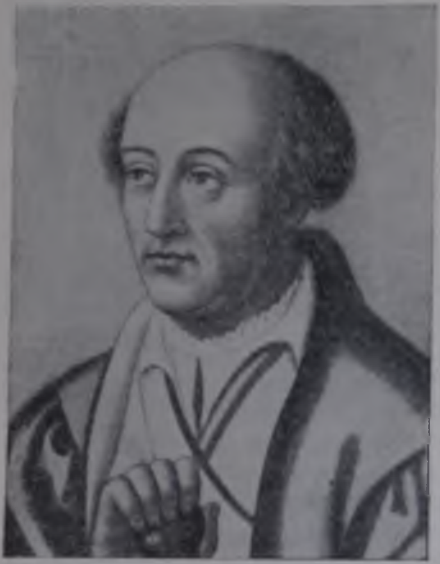


Рис. 126. Алхимический символ мышьяка.

Одной из наиболее распространённых руд мышьяка является мышьяковый колчедан — арсенопирит, — представляющий минерал, содержащий двусернистое железо вместе с двумышьяковистым железом ($FeS_2 \cdot FeAs_2$, или иначе $FeAsS$). Иногда арсенопирит содержит серебро и золото и его месторождения разрабатываются для добычи этих металлов.



Парацельс *(1493—1541)*.

Краткая история мышьяка. Знакомство человечества с веществами, содержащими в своём составе мышьяк, началось очень давно. Мы точно не знаем, когда человек впервые познакомился со свойствами мышьяковых соединений, но уже в сочинениях знаменитого грека Аристотеля и его ученика Теофраста мы находим упоминания о реальгаре, который они называли сандарахом, и об аурипигменте, известном им под именем арсеникона. Несколько позднее — у древних римлян — появилось название «аурипигмент», которое показывает, что этот минерал имеет золотистый цвет («Аурум» — на латинском языке значит золото). Этот цвет привлекал к себе внимание и средневековых алхимиков, усиленно занимавшихся поисками веществ, из которых можно было, по их мнению, получить золото. Продукт прокаливания сернистых соединений мышьяка также был известен алхимикам, и они дали ему до сих пор применяемое название «белого мышьяка». Металлический мышьяк, насколько известно, был впервые описан в XIII в. знаменитым алхимиком Альбертом Магнусом. Свойство мышьяка переводить медь в вещество белого цвета сильно способствовало укреплению в умах алхимиков веры в возможность превращения металлов друг в друга, так как они были склонны считать, что при этом происходит превращение меди в серебро. Алхимики знали и об ядовитых свойствах мышьяковых соединений. Оригинальный по своему характеру и по своей изменчивой судьбе Теофраст Парацельс (1493—1541), реформатор современной ему медицинской практики, положил начало применению соединений мышьяка с лечебными целями.

Несмотря на то что металлический мышьяк был известен уже Альберту Великому, прошли столетия, прежде чем стало ясным, какое отношение он имеет к «белому мышьяку» и к другим мышьяковистым соединениям. Только в XVIII в. Брандт определил это отношение, а Лавуазье установил бесспорность результатов исследований Брандта. В списке химических элементов мы находим мышьяк под именем «арсеник» (arsenic). То же название встречается и в сочинениях Ломоносова.

Получение мышьяка из его соединений. Металлический мышьяк получается в довольно незначительных количествах, и главная часть мышьяковых руд перерабатывается на белый мышьяк, т. е. на трёхокись мышьяка — мышьяковистый ангидрид, As_2O_3.

Мышьяковая кислота H_3AsO_4 и её соли значительно менее ядовиты по сравнению с As_2O_3 и солями мышьяковистой кислоты. Мышьяковая кислота приготовляется путём окисления различными способами трёхокиси мышьяка:

$$As_2O_3 + 2O + 3H_2O = 2H_3AsO_4.$$

Она применяется в некоторых случаях в химической лабораторной практике при получении органических соединений и в промышленности — для изготовления красителей и в качестве протравы при крашении.

Сернистые соединения мышька — аурипигмент и реальгар применяются в живописи в качестве красок и в кожевенной промышленности в качестве средств для удаления волос с кожи. В пиротехнике реальгар употребляется для получения «греческого» или «индийского огня», представляющего собой смесь реальгара с серой и селитрой и образующего при горении яркобелое пламя.

Применение мышьяка в медицине и ветеринарии. По своему ядовитому действию соединения мышьяка распределяются в следующем порядке: наиболее ядовито газообразное соединение — мышьяковистый водород AsH_3, за ним следует мышьяковистый ангидрид и соли мышьяковистой кислоты, далее — мышьяковая кислота со своими солями. Замыкается этот ряд веществ сернистыми соединениями. Люди, позвоночные животные, насекомые, растения, бактерии отравляются и гибнут под действием мышьяка и его соединений. Ядовитое действие соединений мышьяка на животных и человека объясняется тем, что эти вещества нарушают деятельность частей мозга, управляющих органами кровообращения, и вызывают паралич дыхательного центра.

Уже со времени Парацельса известно, что очень небольшие количества соединений мышьяка могут оказывать благоприятное действие на те живые организмы, которые под действием более значительных доз этих веществ испытывают повреждения и даже гибнут. Лошади, получающие в пище небольшие количества соединений мышьяка, оказываются более других способными к усиленной работе и лучше выглядят. Известно также, что люди, привыкшие к восприятию мышьяковых соединений, отличаются здоровьем и телесной крепостью. В качестве примера часто приводят жителей северо-западной части Штирии, работающих в районе расположения мышьяковистых руд. Это обстоятельство находит своё объяснение в том, что небольшие количества соединений мышьяка усиливают работу кроветворных органов и способствуют повышению усвоения азота и фосфора. Многие из мышьяковых соединений применяются в качестве лекарств для борьбы с малокровием и рядом тяжёлых заболеваний. Из неорганических соединений мышьяка мышьяковистый ангидрид применяется в медицине для приготовления пилюль и в зубоврачебной практике в виде пасты. В настоящее время в медицине сильно распространены органические соединения мышьяка, которые по большей части менее ядовиты, чем его неорганические соединения.

Среди этих веществ особенно большое значение имеет сальварсан и неосальварсан, применяемые для лечения таких болезней, как возвратный тиф, тропическая сонная болезнь и др.

Применение мышьяка в сельском хозяйстве. Неисчислимые враги ежегодно нападают на посевы и насаждения культурных растений и приносят огромный ущерб народному хозяйству во всех странах. Даже поверхностное знакомство с размерами убытков, причиняемых четвероногими и шестиногими вредителями, может дать понятие о масштабе приносимого ими вреда. Например, в Германии насекомые уничтожают от 20 до 30% годового урожая плодов, и ежегодная потеря в урожае культурных растений достигает 350—400 миллионов золотых марок. Майский жук и его личинки ежегодно приносят Франции убыток в сотни миллионов золотых франков. В 1879 г. беспощадный вредитель виноградников — филоксера — принесла Франции убыток в 18 миллиардов золотых франков. В США только от гессенской мухи ежегодно гибнет на 50—70 миллионов долларов урожая хлебов, а потери, вызванные в 1921—1922 гг. «работой» хлопкового долгоносика, определялись суммой в 470 миллионов долларов. За первые 5 лет после 1920 г. убытки американских хлопководов выражались суммой в 1½ миллиарда долларов и, таким образом, оказывались почти равными цифре, выражающей добычу золота за эти же годы во всём мире. Убытки, причиняемые вредителями сельскохозяйственных растений народному хозяйству СССР, выражаются ежегодно в сотнях миллионов рублей.

Все эти данные убедительно свидетельствуют о важности организованной борьбы с насекомыми-вредителями. СССР, страны Европы и Америки в настоящее время покрыты частой сетью станций и бюро по изучению вредителей и по борьбе с ними, и СССР занимает в этом отношении одно из первых мест.

Практические мероприятия по борьбе с вредителями сельскохозяйственных растений требуют широкого применения средств для уничтожения этих вредителей. Среди веществ, применяемых с этой целью, важное место занимают соединения мышьяка, и поэтому спрос на них с тех пор, как во всех странах началась организованная борьба с грызунами и насекомыми, достиг огромных размеров.

В качестве инсектисидов, т. е. веществ, убивающих насекомых, употребляются следующие соединения мышьяка: белый мышьяк, кислый мышьяковистокислый натрий, мышьяковистокислый кальций, швейнфуртская зелень, кислый мышьяковистый натрий Na_2HAsO_3, мышьяковокислый кальций $Ca_3(AsO_4)_2$ и кислый мышьяковокислый свинец $PbHAsO_4$ (джипсин).

> *«Съезд считает необходимым обеспечить неуклонное и последовательное проведение химизации во всех отраслях народного хозяйства в направлении развёртывания в форсированных темпах производства искусственных удобрений и средств борьбы с вредителями сельского хозяйства...»*
>
> (Из резолюции XVI съезда ВКП(б) о выполнении пятилетнего плана промышленности. «ВКП(б) в резолюциях и решениях съездов, конференций и пленумов», изд. 6, ч. II, 1940, стр. 415).

М. А. Свешников

ПРИРОДНЫЕ БОГАТСТВА — НА СЛУЖБУ НАРОДУ

Когда-то считалось, что для питания растений достаточно воды и перегноя. Подобное утверждение было, разумеется, лишено научной основы. Вода и перегной безусловно нужны растениям. Но это далеко не всё, что требуется для их роста и получения высоких урожаев. Научными исследованиями доказано, что для нормального роста и развития растений нужны углерод, кислород, водород, азот, сера, фосфор, кальций, калий, магний, железо, бор, марганец, медь, цинк и ряд других питательных элементов. Из них только углерод усваивается растениями с помощью листьев из углекислоты воздуха. Кислород и водород растения получают из воды. Все же остальные весьма существенные питательные вещества растения усваивают через корневую систему из почвы в виде минеральных солей вместе с водой.

Следовательно, получение растениями углерода, кислорода и водорода, которые требуются им в довольно значительных объёмах, не сопряжено с какой-либо сложностью. Углекислота, содержащая углерод, всегда имеется в достаточном количестве в воздухе, окружающем растения. Вода, содержащая кислород и водород, непременно должна быть в почве. Если же её недостаточно, то искусственное насыщение почвы водой не связано с промышленным производством.

Что же касается таких существенных питательных элементов, как азот, фосфор и калий, то их в почве далеко не всегда достаточно для получения не только высоких, но даже мало-мальски сносных урожаев. Чтобы получить обильный урожай сельскохозяйственных культур, в почву приходится вносить органические или минеральные удобрения, содержащие различные питательные элементы. Некоторые же почвы требуют внесения так называемых микроудобрений. Они нужны растениям в очень малых количествах, примерно в тысячных и десятитысячных долях процента.

К ним относятся бор, марганец, медь, железо, цинк, без которых жизнедеятельность растений нарушается.

Но всё же азотные, фосфорные и калийные удобрения являются главными питательными веществами, которые следует вносить в почву для обеспечения нормального роста растений и получения высоких урожаев.

Азот нужен растению для образования белка, без которого, как известно, немыслимо существование ни животного, ни растительного мира. Азот способствует развитию зелёной массы растений. Основным видом азотного удобрения является аммиачная селитра, которая выпускается либо в виде кристаллов, либо в виде чешуек или гранул. Цвет аммиачной селитры — белый или желтоватый. Кроме аммиачной селитры, в качестве азотного удобрения может применяться сернокислый аммоний или сульфат аммония.

Фосфор — один из важнейших питательных элементов всех сельскохозяйственных растений. Он способствует хорошему росту зерновых, образованию сахара в свёкле, крахмала в картофеле, улучшает качество волокна льна, ускоряет созревание. При недостатке фосфора растения плохо усваивают азот. Основными видами фосфорных удобрений являются суперфосфат (простой и двойной), преципитат, томасшлак, термофосфаты, фосфоритная мука и костяная мука. Наиболее распространены суперфосфат и фосфоритная мука. По внешнему виду суперфосфат — порошок светлосерого цвета. Фосфоритная мука — порошок тёмносерой окраски, тонкого размола.

Калий необходим для жизни растений, так же как азот и фосфор. Он способствует образованию в них крахмала, сахара, белков, жиров и других веществ. Если калия для растения не хватает, то зерно получается щуплое и невсхожее, клубни картофеля страдают недостатком крахмала, а в сахарной свёкле оказывается очень невысокий процент содержания сахара. При недостатке калия растения быстро воспринимают грибные и бактериальные болезни. Если калия в почве достаточно, растения хорошо кустятся, зерновые становятся весьма устойчивыми, и им не грозит полегание. Основными видами калийных удобрений являются сильвинит, каинит, хлористый и сернистый калий. Хлористый калий, имеющий небольшое применение, по своему внешнему виду напоминает кристаллы поваренной соли и почти ничем от неё не отличается.

Наиболее распространены следующие удобрения: фосфоритная мука, суперфосфат, сульфат аммония, аммиачная селитра, натриевая селитра, цианамид кальция, калийные соли.

Современная агрохимическая наука достаточно вооружена для того, чтобы в каждом конкретном случае безошибочно определить, какие удобрения и в каком количестве нужно внести в почву под ту или иную культуру. Это достигается не только анализом почвы, но и знанием химического состава растений.

В нашей стране агрохимическая наука, как и сама химическая промышленность, получила настоящее развитие только в годы советской власти.

До революции крестьянские хозяйства не имели почти никакой возможности применять у себя минеральные удобрения. В стране производилось незначительное количество фосфоритной муки и суперфосфата, которые попадали преимущественно помещикам и в конечном счёте никакого существенного влияния на сельское хозяйство России не оказывали. Травопольной системы земледелия не существовало, правила агротехники не соблюдались, земля истощалась и стремительно утрачивала своё естественное плодородие.

Что же касается азотных и калийных удобрений, то их в России вообще не было, если не считать того небольшого количества сульфата аммония, которое получалось в результате очистки газов коксовых печей.

Огромные, поистине несметные минеральные богатства нашей страны оставались неисследованными. Только после победы Октября, с приходом к власти рабочих и крестьян — подлинных хозяев земли, явилась возможность приступить к планомерному изучению её недр, открытию месторождений полезных ископаемых, позволивших развернуть в стране мощную угольную и сланцевую промышленность, чёрную и цветную металлургию, в широких масштабах производить добычу нефти, создать наряду с этим достаточно мощную химическую промышленность и наладить производство минеральных удобрений и ядохимикатов.

В итоге обширных геолого-разведочных работ открыто много месторождений природных фосфатов и калийных солей. По запасам некоторых важнейших из этих видов сырья Советский Союз выдвинулся на первое место в мире.

Крупнейшее Хибинское месторождение природных фосфатов не имеет себе равных в мире. Толщина слоя апатитовой руды достигает 180 *м*. Это — подлинный уникум природы!

В ряду главнейших стоит Кара-Тауское (Казахская ССР) месторождение природных фосфоритов. Близость этого месторождения к районам Средней Азии, Южного Казахстана и Западной Сибири, являющимися крупными потребителями фосфатов, определяет его исключительное народнохозяйственное значение.

Площадь в несколько тысяч квадратных километров занимает Вятско-Камское месторождение фосфоритов, находящееся в Кировской области. Благодаря этому месторождению довольно значительная группа сельскохозяйственных районов, расположенных в непосредственной близости к Кировской области, обеспечивается фосфоритными удобрениями.

В 70—90 *км* от Москвы имеется Егорьевское фосфоритное месторождение, на базе которого в значительных количествах производится фосфоритная мука.

Известны своими значительными запасами фосфоритного сырья Актюбинское месторождение и группа месторождений Южно-Русской впадины — Смоленской, Орловской, Курской, Воронежской, Калужской и Брянской областей.

В Днестровском районе, близ города Могилёва-Подольского, находится Подольское месторождение; на правом берегу Десны, в окрестностях украинского села Разлёты — Кролевецкое, на Урале — Пачкуно-Липовское и многие другие. Все они входят в богатейший фонд фосфоритных сырьевых ресурсов, которым располагает наша страна.

Верхнекамское (Соликамское) месторождение калийных солей по своим естественным запасам занимает первое место в мире. Природа создала между предгорьями Урала и Камой, на территории в 2 000 *кв. км*, величайший склад калийных солей, залегающих в виде пластов.

Залежи калийных солей имеются также в западных областях Украины и на северном склоне Карпат.

Открыты новые калийные месторождения и в ряде областей Урало — Эмбенского нефтеносного района и в Средней Азии.

Как видим, природа не обидела нашу страну сырьевыми ресурсами для организации производства минеральных удобрений.

В целях увеличения сельскохозяйственной продукции, повышения урожайности колхозных и совхозных полей Коммунистическая партия и Советское правительство ещё в начале реконструкции народного хозяйства приняли должные меры к строительству целой группы предприятий по производству минеральных удобрений, поставив их на службу сельскому хозяйству. Этому способствовали уже разведанные к тому времени запасы сырья.

В период первой и второй пятилеток были построены и сданы в эксплуатацию крупнейшие рудники, заводы и комбинаты химической промышленности. Среди первенцев социалистической индустрии были широко известны стройки таких предприятий, как Березниковский, Сталиногорский, Воскресенский, Горловский, Невский и другие химические комбинаты и заводы, предназначавшиеся для производства минеральных удобрений.

К концу первой пятилетки химическая промышленность довела годовое производство удобрений более чем до 1 млн. *т*, а к концу второй пятилетки в стране было выработано 3,2 млн. *т* удобрений.

В послевоенный период построен и введён в действие ряд новых предприятий по производству минеральных удобрений в Коканде (Узбекская ССР), Джамбуле и Актюбинске (Казахская ССР), Лисичанске (Украинская ССР), Кировакане (Армянская ССР) и в других городах и районах СССР.

К концу 1953 г. мощность предприятий, производящих минеральные удобрения, достигла 6 млн. *т* в год. В 1959 г., как уже было сказано выше, она дойдёт до 16,5—17,5 млн. *т*, а в 1964 г. до 28—30 млн. *т*.

Такой размах и такие темпы под силу только нашей стране, где под мудрым руководством Коммунистической партии и благодаря неиссякаемой энергии и трудовой активности советского народа создана могучая тяжёлая индустрия с её сердцевиной — машиностроением, где имеется теперь всё необходимое для того, чтобы обеспечить крутой подъём производства предметов народного потребления, создать обилие продуктов питания для населения и сырья для лёгкой и пищевой промышленности.

Расширение мощностей химической промышленности и резкое увеличение производства минеральных удобрений — одно из тех важных мероприятий, которые определены постановлением сентябрьского Пленума ЦК КПСС, задачами, изложенными в речи и во всех последовавших затем решениях Центрального Комитета КПСС и Совета Министров Союза ССР.

(*«Больше минеральных удобрений»*, 1954 г.)

ГЛАВА VIII

УГЛЕРОД И КРЕМНИЙ

И. Б. Борисов

ТОВИЙ ЕГОРОВИЧ ЛОВИЦ

(Русский физико-химик)

Среди преемников Михаила Васильевича Ломоносова по кафедре химии Российской Академии наук наиболее выдающимся был Товий Егорович Ловиц. Его работы заложили основы нескольких важных разделов физической химии, причём некоторые из них, подобно работам Ломоносова, намного опередили современную ему науку.

Как это не раз случалось с работами русских учёных, труды Ловица в течение многих десятилетий упорно замалчивались учёными Западной Европы, и ряд открытий, сделанных Ловицем, без достаточных к тому оснований приписывали другим. Исправляя историческую несправедливость, мы в настоящее время с полным основанием можем назвать Ловица одним из основоположников физической химии.

Отец химика, Георг Мориц Ловиц, переехал вместе с сыном, родившимся в 1757 г., в Петербург, куда он был приглашён профессором астрономии и членом Российской Академии наук.

В Петербурге молодой Ловиц окончил гимназию при Академии наук. В 1769 г. он участвовал в возглавлявшейся его отцом астрономической экспедиции к Каспийскому морю. Во время путешествия члены экспедиции попали в 1774 г. в плен к одному из отрядов Пугачёва. Отец Ловица, принятый, вероятно, за офицера правительственных войск, жестоко подавлявших в то время восстание, был повешен. Остальным членам экспедиции, в том числе и молодому Ловицу, удалось спастись бегством и в 1775 г. вернуться в Петербург.

В 1776 г. Ловиц поступил на работу в придворную «Главную императорскую аптеку», откуда, приобретя интерес к занятиям химией, отправился в 1780 г. для завершения образования в Геттингенский университет. Окончив его в 1783 г., Ловиц в следующем году возвратился в Россию, где опять поступил в придворную аптеку сначала на должность помощника, а затем аптекаря.

В лаборатории этой аптеки Ловиц уже через год сделал своё первое открытие, доставившее ему почётное место в истории химической науки. Он открыл в июне 1785 г. явление адсорбции растворённых веществ древесным углем.

Толчком к этому открытию послужила необходимость найти способ очистки виннокаменной кислоты, которую Ловицу приходилось в больших количествах получать в аптеке для медицинских целей. При выпаривании растворов кислоты почти всегда наблюдалось потемнение, даже если выпаривание производилось со всеми предосторожностями, на медленном огне. «Это потемнение мне особенно неприятно, — писал Ловиц, — и я ничего так сильно не желаю, как найти средство избежать этого неприятного явления, являющегося следствием лёгкого разрушения этой кислоты». И Ловиц нашёл такое средство. Произведя соответствующий опыт, он открыл адсорбцию растворённых веществ древесным углем.

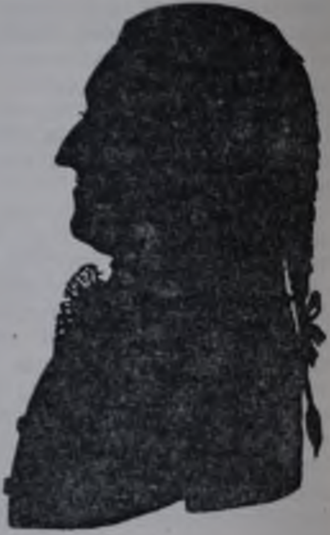
Будучи настоящим учёным, Ловиц не успокоился, открыв единичный факт. Он сейчас же постарался обобщить своё открытие и произвёл многочисленные опыты, подробно изучая различные случаи применения угля в качестве адсорбирующего агента. Прежде всего он исследовал действие угольного порошка на различные загрязнённые жидкости. Он нашёл, что уголь очищает всевозможные грязные («коричневые») растворы солей, проясняет цвет мёда, сиропа и других соков, обесцвечивает растворы красящих веществ. Далее Ловиц изучил действие угля на различные вещества, обладающие запахом. Оказалось, что уголь лишает простую водку запаха и вкуса сивушного масла, очищает застоявшуюся («гнилую») дурно пахнущую воду, делая её пригодной для питья. Ловиц испробовал действие угольного порошка на чеснок и даже на клопов, найдя, что уголь лишает их противного запаха.

Наконец, Ловиц открыл и антисептическое действие угля. Уголь предохраняет мясо от гниения, он может быть применён против «зубного мяса», а если натирать им зубы и затем полоскать их, то уничтожается скверный запах изо рта. Уголь обладает антисептическим действием и при приёме внутрь.

Вскоре открытие Ловица получило и практическое применение. В1794 г. он сообщил об использовании угольного порошка в русском морском флоте для очистки испорченной воды во время морских походов. Этот способ был описан им ещё в 1790 г. в работе «Указание нового способа сделать годной для питья воду во время морских путешествий». Кроме того, на русских водочных заводах был применён разработанный Ловицем метод очистки винного спирта-сырца.

Открытие Ловица произвело большое впечатление на учёные круги. Многие крупные иностранные учёные повторяли его опыты и пытались объяснить адсорбирующее действие угля. Открытие Ловица имеет колоссальное значение и в наше время. Уголь, соответствующим образом обработанный (активированный), находит широкое промышленное и оборонное применение, а учение об адсорбции является большой и важной главой современной физической химии.

Научная и практическая деятельность Ловица не осталась незамеченной. В 1786 г. он был избран членом Вольного экономического общества, а в 1788 г. — членом-корреспондентом Академии наук, ещё через два года — адъюнктом химии Академии наук и, наконец, в 1793 г. получил звание ординарного академика. Через несколько лет после открытия явлений адсорбции Ловиц выступил в качестве пионера и в области явлений кристаллизации. Разрабатывая способ получения чистой концентрированной уксусной кислоты и изучая её свойства, он в 1788 г. открыл безводную кристаллическую уксусную кислоту, назвав её «ледяной уксусной кислотой» (это название сохранилось и до сих пор). Подробно исследуя условия кристаллизации «ледяного уксуса», Ловиц обнаружил такие явления, как пересыщение и переохлаждение растворов, прививка и выращивание кристаллов и т. д.



Т. Е. Ловиц.

Тогда же Ловиц высказал мысль о применении многократной кристаллизации для полной очистки веществ от примесей. В настоящее время этот способ широко применяется в научной и производственной практике.

Необходимо отметить, что замечательные открытия Ловица в области явлений кристаллизации, которая и до сих пор является предметом внимательного изучения, изложенные им ещё в 1794 г. в статье «Заметки о кристаллизации солей и сообщение о надёжном средстве получения правильных кристаллов», впоследствии приписывались различным иностранным учёным. Так, способ прививки кристаллов приписывался Леблану (1802), открытие пересыщенных растворов — Гей-Люссаку (1813), разработка метода медленной кристаллизации — Клеману и Дезорму (1814) и т. д.

Получив в 1792 г. кристаллы едкого кали, Ловиц заметил, что растворение их в воде «вызывает очень чувствительный холод». Он исследовал это явление и открыл искусственные смеси, широко применяемые теперь в лабораторной и заводской работе. Он же предложил и первые рецепты охладительных смесей, в основном сохранившиеся и до нашего времени. Так, он нашёл, что смесь из 3 частей снега и 4 частей кристаллического хлористого кальция даёт понижение температуры до —50°, а в 1878 г. — через 80 лет после Ловица — было определено, что смесь из 2,8 части снега и 4 частей той же соли даёт понижение температуры до —54°,9 (почти полное совпадение).

Однако и эти открытия, привлёкшие в своё время большое внимание западноевропейских учёных, были в дальнейшем приписаны другим, а имя Ловица уже в 1852 г. не было упомянуто в немецких учебниках химии и физики.

Аналитическая химия, основы которой разрабатывались во времена Ловица, также обязана ему несколькими открытиями.

Ловиц нашёл способ отделения бария от стронция и кальция (1795), способ растворения природных силикатов (разработанный им при изучении русских минералов и природных продуктов) и некоторые другие.

В 1798 г., занимаясь изучением кристаллизации растворов солей, Ловиц применил микроскоп и пришёл к выводу, что микроскопическое исследование формы кристаллов может быть использовано для быстрого анализа солей. Тем самым он положил начало весьма ценному микрохимическому анализу, получившему широкое распространение лишь через 100 лет после Ловица.

Кроме упомянутых выше обширных исследований, Ловиц сделал ряд других открытий. Например, обнаруженное им свойство многоосновных кислот давать два ряда солей — кислые и нейтральные (1789) — всего через 4 года после его смерти было применено Волластоном для экспериментального подтверждения атомной теории (1808). Далее, впервые полученные в 1793 г. Ловицем хлороуксусные кислоты, действием хлора на уксусную кислоту, в дальнейшем вторично «открытые» иностранными учёными Дюма (1830) и Лебланом (1844), впоследствии сыграли большую роль в разработке теории органической химии. Наконец, даже пути искусственного получения сахаристого вещества были намечены Ловицем примерно за 100 лет до практического осуществления этого синтеза.

За что бы ни брался этот блестящий экспериментатор и тонкий наблюдатель, он всюду умел находить самое интересное и всегда оказывался в состоянии должным образом оценить и изучить вновь открытое им явление.

Товий Егорович Ловиц умер 26 ноября 1804 г. в Петербурге. Имя его навсегда сохранится в истории химической науки.

(*«Наука и жизнь»*, 1939 г., № 4)

Н. А. Фигуровский

ИСТОРИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ ПРОТИВОГАЗА Н. Д. ЗЕЛИНСКИМ

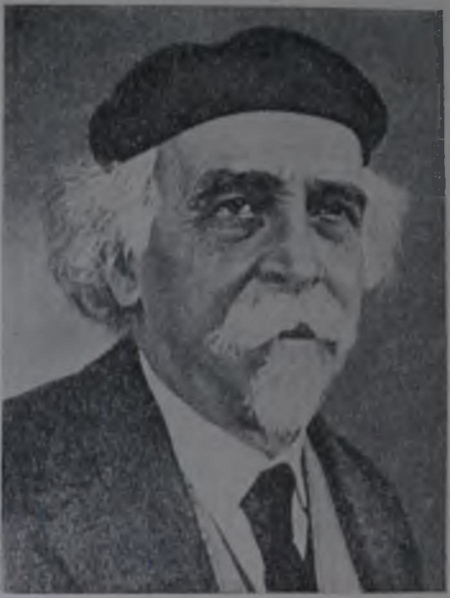
Ещё в июне 1915 г. Н. Д. Зелинскому, работавшему в то время в Петрограде заведующим Центральной лабораторией министерства финансов, пришла мысль использовать уголь для целей защиты от газов. Соприкасаясь по роду своей деятельности с производством спирта, в котором уголь с давних пор применялся для очистки сырца, Н. Д. Зелинский имел в своём распоряжении различные сорта углей и, поставив соответствующие опыты, обнаружил, что уголь действительно является мощным средством для поглощения ядовитых газов. В особенности хорошие качества в этом отношении показал уголь, так называемый «оживлённый», т. е. подвергшийся вторичному обжигу, после того, как этот уголь уже использовался для очистки спирта.

О том, каким образом возникла мысль об угле как средстве защиты от газов, Н. Д. Зелинский рассказывает:

«В начале лета 1915 г. в Санитарно-техническом отделе Русского общества несколько раз рассматривался вопрос о газовых атаках неприятеля и мерах борьбы с ними. В официальных сообщениях с фронта подробно описывалась обстановка газовых атак, случаи поражения от них и немногочисленные случаи спасения солдат, находившихся на передовых позициях. Сообщалось, что те оставались в живых, кто прибегал к таким простым средствам, как дыхание через тряпку, смоченную водой или уриной, или дыхание через рыхлую землю, плотно касаясь её ртом и носом, или, наконец, спасались те, кто хорошо покрывал голову шинелью и спокойно лежал во время газовой атаки. Эти простые приёмы, спасшие от удушья, показывали, что в то время по крайней мере концентрация газов в воздухе была хотя и смертельно ядовитой, но всё же незначительной, раз можно было спасти себя такими простыми средствами.

Это последнее обстоятельство произвело на нас большое впечатление, и, обсуждая затем вопрос о возможных мерах борьбы с газовыми атаками, мы решили испробовать и применить также простое средство, действие которого было бы вполне аналогично действию материи солдатской шинели или гумусу почвы. Как в том, так и в другом случае ядовитые вещества не химически связывались, а поглощались, или адсорбировались, шерстью и почвой. Такое средство мы думали найти в древесном угле, коэффициент адсорбции которого по отношению к постоянным газам, как это известно, много больший, чем для почвы».

Предварительные опыты с углем были произведены в лаборатории Министерства финансов. В пустой комнате сжигалась сера, и когда концентрация сернистого газа достигала величины, при которой в комнату невозможно было войти без противогаза, в неё входили люди с надетыми угольными респираторами (носовой платок, в котором был завёрнут зернёный уголь). Было достаточно установлено, что в такой невыносимой атмосфере, дыша через респиратор, можно было оставаться в течение многих минут и до получаса, не испытывая никаких неприятных ощущений. Конечно, хорошие результаты констатировались лишь тогда, когда была вполне обеспечена герметичность прилегания к лицу такого импровизированного приспособления.


Академик Н. Д. Зелинский *(1861—1953).*

В июне 1915 г. Н. Д. Зелинский впервые доложил о найденном им средстве на заседании противогазовой комиссии при Русском техническом обществе в Петрограде (в Соляном городке), а 12 августа он уже выступил с сообщением об угле на экстренном заседании Экспериментальной комиссии в Москве. В своём сообщении Н. Д. Зелинский указывал, что защитное действие угля является универсальным и к тому же уголь имеется в России в вполне достаточном количестве. Комиссия решила немедленно приступить к испытаниям угля.

Первое испытание было произведено 12 августа в камере, содержащей фосген в концентрации в 0,01% прямо на людях. Оказалось, что при заполнении небольшого цилиндра маски зернёным углем можно оставаться в камере с надетой маской 15 мин. и более, не ощущая фосгена.

13 августа, днём, в Москве, во 2-й Градской больнице, был поставлен опыт на собаке. Последняя с надетой угольной маской была помещена под большой стеклянный колокол (ёмкостью в 50 *л*) в атмосферу с содержанием 0,1% фосгена. Слой угля имел 15 *см* длины и 5 *см* в поперечнике. Собака находилась в камере 25 мин. и не только осталась жива, но и не показала никаких признаков ухудшения своего состояния. Результаты обоих испытаний были доложены на заседании Экспериментальной комиссии вечером 13 августа, где Н. Д. Зелинский предварительно сделал большой доклад об угле и его способности адсорбировать газы. Таким образом, оставалось только доказать способность угля защищать от удушливых газов в концентрациях, применяемых

на фронте, и одновременно выработать способ практического применения угля.

Дальнейшие испытания угля производились в комиссии довольно интенсивно. Уголь испытывался 14, 18, 22 и 27 августа. Вначале опыты производились (в камере с хлором и фосгеном) с малыми угольными фильтрами. В носовой платок помещался уголь слоем толщиной в 2—3 *см*, и такое приспособление прикладывалось к лицу. Для этой же цели использовалась марлевая маска, между слоями которой помещался слой угля в 2—3 *см* толщиной. Оказалось, что даже такие примитивные приспособления защищали, в особенности против хлора, в течение нескольких минут (один раз до 6 мин.); было также зафиксировано защитное действие при малых концентрациях фосгена (0,001—0,005%).

Значительно большей мощностью обладали угольные фильтры, если несколько большее количество угля помещалось в цилиндры из жести. Цилиндры размерами 12×10 *см*, наполненные углем, позволяли находиться в камере с 0,06% хлора в течение 8 мин. и после этого ещё при добавке в камеру фосгена 0,02% в течение 2,5 мин.

Ещё лучше защищали цилиндры размером 18×8 *см*. При испытаниях 22 августа один из членов комиссии оставался в камере с содержанием 0,018% фосгена, защищённый таким цилиндром, в течение 10 мин. Однако случайное несчастие, происшедшее во время этого опыта, привело к тому, что комиссия дала в конце концов отрицательное суждение об угле. Дело в том, что после выхода из камеры экспериментировавший почувствовал недомогание и заболел надолго. Это было приписано отравлению вследствие недостаточного защитного действия угля, в то время как виной этому, вероятно, была просто негерметичность маски. Было также обращено внимание на большое количество мелкой угольной пыли, которая попадает в дыхательные пути при дыхании через угольный фильтр.

Однако уже через три дня дальнейшие испытания угля снова указали на его исключительно высокие защитные свойства. Инициатором этих испытаний был проф. Шатерников, предложивший свой собственный образец маски, герметически закрывавшей рот и нос и снабжённой клапанами.

Несмотря на все успехи проведённых испытаний, многие члены Экспериментальной комиссии всё ещё отрицательно относились к вопросу о рекомендации угольного противогаза для вооружения армии, и Н. Д. Зелинскому пришлось иным путём пробивать брешь в стене косности и консерватизма, а иногда и прямого противодействия властей продвижению противогаза.

Наряду с испытаниями противогаза в Москве, в Петрограде шла работа своим путём. Проф. А. Е. Фаворский (впоследствии академик) по поручению военных властей произвёл поверочные опыты и подтвердил сделанные Н. Д. Зелинским выводы о защитных свойствах угля. Эти опыты надо отметить, во-первых, потому, что на них впервые фигурировал предложенный инженером Э. Л. Куммантом резиновый шлем, впоследствии составивший с угольной коробкой единый прибор, носивший название противогаза Зелинского-Кумманта. Присутствовавшие на испытаниях сотрудники Н. Д. Зелинского провели опыты с новой поглотительной массой, содержащей, помимо берёзового угля, 20% кровяного угля, помещавшегося тонким слоем у входного отверстия противогаза. На этих испытаниях в приборе с шлемом Кумманта препаратор Степанов пробыл в камере (0,012% хлора) 33 мин. и затем в смеси хлора и фосгена — 19 мин. и вторично в том же приборе — 7,5 мин.

Таким образом, в ноябре 1915 г. было уже совершенно ясно, что уголь является лучшим средством для защиты от газов, и были выработаны принципиальные схемы противогаза. Тем не менее Управление принца Ольденбургского всеми силами тормозило изобретение Н. Д. Зелинского. Генерал В. Н. Ипатьев пишет по поводу создавшегося тогда положения с противогазом Н. Д. Зелинского:

«Казалось бы, что предложение Зелинского надо было использовать как можно скорее, тем более, что в это время инженер Куммант предложил противогазовый аппарат, в котором можно было с удобством применить для поглощения активированный уголь (окончательная конструкция противогаза была разработана Н. Д. Зелинским в сотрудничестве с инж. Э. Л. Куммантом. — *Н. Ф.*). Но, к сожалению, началась бесконечная волокита, которая сильно затормозила проведение в жизнь столь важного изобретения. С одной стороны, самолюбие лиц, работавших в отделе противогазов верховного начальника, не позволило откровенно признать, что не у них, а на стороне сделано это открытие, а с другой стороны, боязнь авторов изобретения потерять приоритет и вследствие этого лишиться материальных и других выгод».

Генерал Ипатьев вполне прав, когда говорит об отношении управления принца Ольденбургского к изобретению Зелинского. Однако он совершенно неосновательно обвиняет Зелинского в боязни потерять приоритет. В своих многочисленных письмах того времени к ряду лиц, в том числе и к самому принцу Ольденбургскому, Н. Д. Зелинский указывает, что он считает своё изобретение имеющим важное государственное значение и только потому не считает возможным разглашать секрет изготовления активированного угля. Что же касается вопроса о материальных выгодах, то в целом ряде документов Н. Д. Зелинский подчёркивал свою полную незаинтересованность в них. Он прямо заявляет, что не считает возможным и допустимым получать деньги за спасение жизни людей. Впрочем, сам генерал Ипатьев принуждён признать, что Н. Д. Зелинский не получил ни копейки за своё изобретение.

В чём же состоял способ активизац Н. Д. Зелинским? Мы уже отмечали, что первоначальные наблюдения и опыты установили наличие повышенной активности у углей «оживлённых», т. е. ранее применявшихся для очистки спирта-сырца и затем вторично обожжённых. Поэтому первые лабораторные методы активизации, использованные Н. Д. Зелинским, были основаны на применении в качестве активирующего средства разбавленного спирта. Н. Д. Зелинский описал два способа активизации угля. Первый способ заключался в обжиге берёзового или липового угля-сырца при доступе воздуха в подовой или колосниковой печи с целью удаления из угля продуктов сухой перегонки (смол) и затем в пропитке угля летучими органическими соединениями (метиловым спиртом, этиловым спиртом, уксусным, петролейным или этиловым эфирами) и вторичном обжиге этого угля в ретортных печах при малом доступе воздуха. Н. Д. Зелинский указывал, что введение в поры угля веществ с высокой упругостью пара способствует быстрому освобождению углистой массы от адсорбированных ею при предварительном обжиге тяжёлых углеводородов и тем самым сообщению углю большей пористости, и, следовательно, большей удельной поверхности. Для получения особо высокоактивных углей с активностью в 30—40% пропитку и повторный обжиг производят ещё один или несколько раз.

Второй способ, применённый Н. Д. Зелинским, на практике отличался от первого только тем, что во второй стадии обработки уголь пропитывался вместо спирта водой. По объяснению Зелинского, обжиг угля, предварительно пропитанного водой, при высоких температурах приводит к образованию водяного газа, что способствует разрыхлению угля. При этом процесс должен вестись следующим образом: хорошо обожжённый в подовых печах уголь-сырец гасится водой и во влажном состоянии вновь вносится в подовую печь, где нагревается в течение 2 час. до яркокрасного каления и затем на 2—3 часа оставляется в печи без доступа воздуха («томится»). Применяемая для пропитки угля вода должна быть мягкой.

Как видно из описаний, процесс активизации угля был предложен и поставлен с современной точки зрения вполне научно и в общих чертах удержался до наших дней.

Возвращаясь к истории продвижения противогаза в армию, мы должны прежде всего констатировать перерыв в испытаниях угольных противогазов в Экспериментальной комиссии с ноября по январь, вызванный, несомненно, противодействием принца Ольденбургского.

Некоторое улучшение с продвижением противогаза в армию наметилось лишь в марте 1916 г. благодаря передаче руководства противогазным делом в руки вновь организованного Химического комитета. Уже 24 марта эта организация передала Военно-промышленному комитету заказ на крупную партию противогазов. Однако поступление противогазов в армию шло весьма медленно, и лишь небольшая часть войск к весне 1916 г. была снабжена противогазами Зелинского. Несмотря на это популярность противогаза в армии была огромной. Сам Н. Д. Зелинский получал большое число писем с фронта с просьбой о высылке противогазов. Требования о высылке образцов противогазов поступали также и от союзников. 27 февраля 1916 г. по требованию генштаба в Лондон были высланы 5 противогазов Зелинского для исследования. Англичане не верили, что чистый берёзовый уголь может оказаться хорошим средством защиты от газов, и подвергли присланные образцы угля в противогазах кропотливому микроскопическому и химическому исследованию, пытаясь раскрыть «секрет» Н. Д. Зелинского. Однако к своему удивлению они обнаружили, что имеют дело с чистым углем без всякой его пропитки и сообщили об этом в Россию[1].

Насколько вообще союзники отстали в исследованиях угля от русских, видно из того, что известный профессор фармацевтической школы в Париже Лебо только в 1916 году приступил к изучению поглотительной способности угля (вероятно, по поручению французского правительства) в условиях, сходных с работой угля в противогазе. В своих отчётах, датированных 29 июня 1916 г. и 29 января 1917 г., проф. Лебо приводит две серии опытов, показавших, что уголь обладает максимальной активностью в том случае, когда он активируется медленным прокаливанием при 600° в течение нескольких часов. Для русских учёных такие способы активизации были уже давно пройденным этапом. Уголь находил себе новые применения и обнаруживал новые качества, получившие большое значение в будущем. Уже 25 января 1916 г. Н. Д. Зелинскому было сообщено, что уголь с успехом применяется как катализатор в производстве фосгена на одном из опытных заводов.

Мы уже упоминали выше о первоначальных образцах противогазов, выработанных самим Н. Д. Зелинским и Московской экспериментальной комиссией. Здесь уместно дать их краткое описание. Первый противогаз, испытывавшийся в Экспериментальной комиссии, представлял собой либо бутылку без дна, наполненную углем, либо жестяную коробку, сделанную по образцу такой бутылки. Противогазы первого образца имели или цилиндрическую, или прямоугольную форму и различные размеры. В верхней части коробки имелась горловина, на которую надевался патрубок шлема Кумманта. Вместо нижнего дна коробка имела металлическую сетку, поверх которой помещалось несколько слоёв марли. Сверху над слоем угля также имелась марлевая с ватой прокладка для защиты дыхательных путей от угольной пыли.

---

[1] Со слов Н. Д. Зелинского.

Вначале опыты производились с коробками различных размеров, причём с целью увеличения мощности противогаза наблюдалась тенденция к применению коробок значительных размеров. Так как такие коробки не были снабжены клапанами, то дышать через них было достаточно трудно. Только с течением времени были подобраны опытным путём соответствующие размеры коробок, которые затем и были приняты в выпускаемых в армию образцах противогазов.

Состоящий на вооружении Красной Армии противогаз имеет мало сходства со своим предшественником — угольным противогазом Зелинского 1916 г. Новый противогаз удобен, надёжен и рассчитан на большое время работы. Но не надо забывать, что этот противогаз — произведение советских учёных и техников — является, если так можно выразиться, «внуком» противогаза Зелинского.

Вспоминая тяжёлое прошлое нашей родины, мы должны сказать горячее спасибо академику-орденоносцу Н. Д. Зелинскому за его противогаз, спасший тысячи жизней.

(«Очерк развития русского противогаза», 1942)

В. Рамзай

ОТКРЫТИЕ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

В старые годы казалось каким-то чудом, что газ может быть собран в небольшом пространстве или что воздух может быть в большом количестве выделен из камня. Это было таким же чудом, как аравийский джин, огромной величины и дикого вида, выскакивающий из бутылки, о котором рассказывается в «Истории рыбака», одной из прелестных сказок «Тысячи и одной ночи». Правда, ещё в середине семнадцатого столетия Роберт Бойль сделал знаменитое своё открытие относительно давления воздуха, доказав, что чем больше давление, которое испытывает газ, тем меньше пространства он занимает. Но как бы ни было велико давление, воздух Бойля оставался воздухом. Можно было бы подумать, что превращение воды в пар могло бы убедить людей в том, что, по меньшей мере, жидкость может быть превращена в газ. Но так как пары легко переходят опять в воду, то не было, повидимому, обращено внимание на сравнительно большое пространство, занимаемое самими парами. Только с открытием Блэка, что из мрамора выделяется двуокись углерода или «фиксируемый воздух», как он назвал её, было обращено внимание на то, что газ может быть получен из твёрдого тела. Кроме того, особое свойство этого газа — что он может быть фиксирован (связан химически), совершенно отличало его от обыкновенного воздуха. Правда, Стифен Хельс, ботаник, подверг перегонке много веществ растительного, животного и минерального происхождения, среди которых было немало таких, которые должны были дать нечистый водород, болотный газ, двуокись углерода или кислород. Но он ограничился только определением объёмов газов, которые он получал из известного веса тех веществ, а свойствами их не интересовался.

Интересен повод, давший толчок к знаменитому открытию Блэка. Роберт Вальполь и брат его, Гораций, страдали от камней в мочевом пузыре. Им казалось, что они получили некоторое облегчение от лекарства, придуманного некоей мистрис Стефенс.

При их содействии она получила 5 000 фунтов стерлингов за раскрытие своей тайны, которая и была напечатана в «Лондонской газете» 19 июня 1739 г. Описание его было таково:

> Мои лекарства суть: порошок, отвар и пилюли. Порошок состоит из яичной скорлупы[1] и улиток[2], прокалённых. Чтобы получить отвар, нужно варить некоторые травы[3] с шаром, приготовленным из мыла[4], обугленного кресса и мёда. Пилюли состоят из прокалённых улиток, семени дикой репы, репейника, шиповника и овса (все они должны быть обуглены), мыла и мёда.

Д-р Кэлен и его коллеги оспаривали действительность столь странного и едкого средства, и, чтобы найти более мягкую щёлочь для медицинских целей, Блэк приступил к своим опытам над магнезией. Опыты эти были описаны в статье, носящей заглавие «Опыты над белой магнезией, едкой известью и некоторыми другими щелочными веществами».

Средства, употреблявшиеся в медицине для растворения мочевых камней, обладали все едкими свойствами.

Вещества эти получались из мягких щелочей, т. е. карбонатов, растворы которых варились с гашёной известью, получаемой из едкой извести с водой. Едкая же известь образуется нагреванием на огне известняка, откуда он и получает свои едкие свойства[5].

Принимали, что эти свойства исходят от огня, эссенция которого, так сказать, поглощается. При варке мягких щелочей с известью эта эссенция, как предполагали, переходит к щелочам, которые вследствие этого и становятся едкими. В качестве растворителя мочевых камней употреблялась известковая вода или раствор едкой извести, и желание получить из горькой соли менее едкое растворяющее средство побудило Блэка к его исследованиям.

---

[1] Яичная скорлупа и улитки прокаливались в течение восьми часов в тигле, окружённом углем, и затем помещались в глиняном сосуде в сухую комнату, где они и оставлялись в течение двух месяцев. Здесь скорлупа становилась мягкой на вкус и распадалась в порошок.

[2] Улитки нагревались в тигле до полного удаления запаха и затем в ступке истёрты в порошок. Пропорция была такова: 6 частей яичной скорлупы на одну часть порошка улиток. Последний мог быть приготовлен только в мае, июне, июле и августе.

[3] Травы для отвара: зелёная ромашка, сладкий укроп, петрушка и репейник; листья или коренья.

[4] Лучшее аликантское мыло.

[5] Взаимодействие карбонатов с известью мы теперь выражаем следующим уравнением $Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 = CaCO_3 + 2NaOH$. Углекальцевая соль $CaCO_3$, будучи мало растворимой, переходит в осадок, а едкий натр $NaOH$ остаётся в растворе. *(Состав.)*

Как это доказывает лабораторный дневник Блэка, он приступил к своим опытам со старыми представлениями. Блэк пытался добыть материю огня в тот момент, когда она выделяется из извести, между тем как последняя на воздухе становилась мягче. Он произвёл, повидимому, несколько опытов в этом направлении, ибо в дневнике записано: «ничего не выделяется, сосуд сильно приподымается, так как воздух поглощается». Двумя страницами дальше он заносит в дневник опыт, в котором он хотел сравнить потерю в весе, испытываемую унцией известкового камня при накаливании, с той потерей, которая получается при растворении её же в «Spiritus salis» (соляной кислоте). Здесь, повидимому, ему стала выясняться причина мягкости и едкости веществ.

Несколькими страницами дальше другая запись доказывает, что ему удалось разрешить загадку. «Если я осаждаю известь обыкновенной щёлочью, то никакой пены нет. Воздух оставляет щёлочь и переходит к извести. Но это уже не известь, а другое вещество. Теперь это пенится, чего при хорошей извести не бывает».

Обратимся теперь к тому ходу мыслей, который привёл его к этому выводу.

Получив «мягкую магнезию»[1] осаждением из горькой соли или сернокислой магнезии с углекислым калием (поташем), Блэк нашёл, что она «быстро растворяется с бурным выделением воздуха кислотами купороса, селитры или обыкновенной соли, а также дистиллированным винным уксусом»[2].

Если сильно нагреть мягкую магнезию, то она превращается в белый порошок, растворяющийся в кислотах, без выделения пузырьков. Кроме того, она при накаливании теряет $^7/_{12}$ своего веса. Внимание Блэка устремляется на эту улетучивающуюся часть. Чтобы снова получить её, он растворяет остаток в серной кислоте и снова осаждает его щёлочью (карбонатом). Полученный белый порошок растворяется в кислотах с обильным выделением пузырьков и «снова получает все свойства, которые он потерял при накаливании. Кроме того, он увеличился в весе почти на столько же, сколько он потерял при накаливании; а так как он растворяется в кислотах с образованием пузырьков, то часть его веса, без сомнения, должна быть приписана воздуху».

Блэк сделал здесь огромный шаг вперёд: он взвесил газ в связанном состоянии. Он приходит далее к следующему выводу: «отсюда ясно, что кислота вытеснила воздух[1] из щёлочи, и он перешёл к магнезии».

---

[1] $MgCO_3$. *(Состав.)*

[2] Т. е. кислотами серной, азотной, соляной и уксусной. *(Состав.)*

Теперь Блэк обратил своё внимание на известь. Он растворил известняк в соляной кислоте и обработал раствор мягкой щёлочью; между вновь полученным известковым камнем и первоначальным не оказалось никакой разницы. Так он впервые отделил фиксируемый воздух (CO_2) от извести и затем опять соединил их. Эти опыты заставили Блэка сделать тот вывод, что фиксируемый воздух должен иметь свойства кислоты, ибо он превращает едкую известь, жёсткую землю, как он называл её, в известняк, или мягкую землю, а причина мягкости должна заключаться в соединении с фиксируемым воздухом.

Этим объясняется также тот странный факт, что мягкая магнезия при смешении с известковой водой даёт чистую воду: фиксируемый воздух оставляет магнезию и соединяется с известью, а образовавшаяся мягкая известь, как и магнезия, нерастворимы в воде. Подобным же образом объясняется действие едкой извести, превращающее мягкие щёлочи в едкие: едкая известь извлекает фиксируемый воздух из щелочей, вследствие чего эти последние становятся едкими, а она становится мягкой.

Оставалось ещё доказать, что фиксируемый воздух не имеет свойств обыкновенного воздуха. Для этого Блэк поместил сначала 4 унции известковой воды и потом 4 унции обыкновенной воды под колокол своего воздушного насоса и высосал воздух; в обоих случаях он получил почти равное количество воздуха. Отсюда следовало, что воздух, притягиваемый известью, отличается от воздуха, растворённого в воде. Едкая известь не притягивает воздуха, обладающего обычными своими свойствами, а она способна соединяться только с особым видом его, «рассеянным в воздухе или в виде очень тонкого порошка, или — что вероятнее — в виде упругой жидкости. Вот эту жидкость я, может быть, весьма неудачно, назвал фиксируемым воздухом; при всём том мне кажется лучшим пользоваться названием, нашедшим уже применение в науке, чем придумывать новое название раньше, чем будут более выяснены природа и свойства этого вещества».

(Из «Истории химии», 1920 г.)

Е. Д. Рогов

«СУХОЙ ЛЁД»

Человеку нужен не только огонь, но и холод. Появилась целая отрасль индустрии — холодильная промышленность и специальная наука о холоде. Возникают десятки способов получения низких температур — от простого домашнего ледника до громадных холодильников и заводов сухого льда.

---

[1] Т. е. CO_2.

Сухой лёд по своему составу очень далёк от обычного льда. По цвету он скорее похож на спрессованный плотный снег, по твёрдости напоминает мел, а если «тает», то не оставляет ни капли влаги: весь кусок сухого льда испаряется, превращаясь в углекислый газ, из которого он приготовлен. Можно такую ледышку держать в руке, не ощущая холода, хотя температура её —78°. Дело в том, что испаряющаяся двуокись углерода создаёт прослойку между рукой и холодным куском. Но если сжать этот же кусок между пальцами, они будут отморожены.

Сухой лёд тонет в воде. На заводе «Сухой лёд» налили в металлический сосуд бензин, поднесли спичку — и бензин вспыхнул ярким пламенем. В этот искусственный пожар бросили несколько кусков сухого льда, и бензин потух — пламя было сбито углекислым газом. Конечно, обычным водяным льдом потушить бензин нельзя, но сухой лёд представляет не замёрзшую воду, а отвердевший углекислый газ.

Воздух, окутывающий Землю, содержит около 3 млрд. *т* углекислого газа. Каждый из нас, выдыхая из лёгких воздух, выделяет за сутки около 1 *кг* углекислого газа. Бесцветный углекислый газ в $1^1/_2$ раза тяжелее воздуха, не горюч и не поддерживает горения. Углекислый газ в огнетушителе помогает тушить огонь. Для дыхания он непригоден. В Италии есть знаменитая «Собачья пещера», где тяжёлый углекислый газ держится близко ко дну пещеры и человек может безопасно ходить под сводами, но собака, вбежавшая в пещеру, задыхается.

В наши дни, особенно летом, в киосках минеральных вод постоянно находятся стальные бутыли с жидкой двуокисью углерода. Этот газ хорошо растворяется в воде, а газированная углекислым газом вода — ситро, лимонад или натуральные «Нарзан» и «Ессентуки» — освежает в жару и имеет хороший вкус.

Сто лет назад английские учёные Фарадей и Дэви впервые получили жидкую двуокись углерода.

В 1931 г. Мосхимтрест начал постройку завода жидкой двуокиси углерода для газирования воды. В том же году нарком тов. А. И. Микоян дал задание поставить в СССР опытный выпуск сухого льда, проверить его качества и подготовить первые предприятия сухолёдной промышленности. Моссовет передал строительство завода твёрдой двуокиси углерода Хладоцентру.

Весь 1932 г. шли монтажные работы, опробовалось новое, совершенно незнакомое для СССР производство, а 1 мая 1933 г. завод в Филях выдал первые блоки (куски) сухого льда: кубики, бруски и цилиндры из твёрдого CO_2, более плотные, чем обычный лёд, а по цвету светлее зеленоватого льда Москвы-реки. Такой лёд по своей холодопроизводительности даёт вдвое больше холода, чем природный лёд (152 калории на 1 *кг* против 80 калорий).

Главное применение сухого льда — перевозка и хранение скоропортящихся продуктов, особенно тех, которые, как, например, рыбное филе, настолько нежны, что требуют самых низких температур и не должны оттаивать в пути. Первые перевозки замороженных грузов в изотермических вагонах показали, что наш сухой лёд успешно выдержал пробу на прочность холода. Низкая температура выпускаемого льда (до —78°, в то время как температура обычного льда с солью фактически держится на —4—6°) позволила вагонам, загруженным сухим льдом, без добавки льда в пути, делать пробег Москва—Ростов, Мурманск—Ленинград. При пользовании обычным льдом через каждые сутки пути добавляют до 1 *т* льда, а, кроме того, к нему прибавляется ещё большое количество соли, которая портит железные части вагонов. Тающий рассол стекает на полотно железной дороги и портит части мостов и рельсов.

Но ценность сухого льда для пищевой промышленности не только в получаемой при его помощи низкой температуре. Мясо, лежащее на сухом льду, никогда не покрывается слизью, на продуктах не может быть плесени; CO_2 мешает развитию плесени, задерживает рост бактерий и частично их убивает. «Тающий» сухой лёд наполняет охлаждаемое помещение чистым и сухим углекислым газом, который предохраняет продукты от вредных влияний. В воздухе не может появиться сырости и запахов, а слой газа защищает сухой лёд от тёплого воздуха. Благодаря этому сухой лёд может быть применён там, где водяной лёд непригоден.

Сухой лёд испытывался при хранении зерна на элеваторах. Размельчённым в порошок сухим льдом, как пудрой, осыпали зерно, которое, таким образом, прекрасно защищалось от появления новых насекомых, а все грызуны и насекомые-нахлебники, жившие около этого зерна ранее, уходили из хранилища. Кроме того, сухой лёд ликвидировал самовозгорание зерна.

Точные приборы и механизмы управления самолётами, высоковольтные изоляторы из новых составов, двигатели с применением новых материалов — все они должны быть испытаны морозом, забронированы от деформации или разрушения при низких температурах. Низкие температуры и простота пользования сухим льдом продвигают его в научно-технические лаборатории. Он применяется здесь при испытании всякого рода изделий и приборов, которые должны, например, работать в условиях Арктики или стратосферы. С его помощью выясняется поведение резиновых камер и покрышек при пробеге вездеходов по тундре или Новой Земле.

Сухой лёд на нашем первом заводе делают машины, и человек только следит за их работой. В котлах сжигается обыкновенный малосернистый донецкий уголь, и полученный дым проходит цикл очистительных и поглотительных башен. Раствор поташа поглощает из дыма содержащийся в нём CO_2; полученный раствор идёт в выпарной аппарат, где он нагревается, и под влиянием тепла выделяет свободный и чистый углекислый газ, который поступает в компрессор. Здесь он сжимается до давления, при котором по выходе из компрессора охлаждается и превращается в жидкое состояние, находясь всё время под давлением в 70 *атм*. Жидкий CO_2 частью разливается в баллоны и отправляется на производство шипучих напитков или на иные промышленные потребности — на производство синтетического каучука, замораживание шахт метро и т. д. Углекислый газ, предназначенный для выделки льда путём нескольких ступеней понижения давления с 70 до 8 *атм*, поступает в ледогенераторы, при помощи дальнейшего снижения давления обращается в твёрдое состояние и настолько охлаждается, что из генератора выходит кусками готового льда.

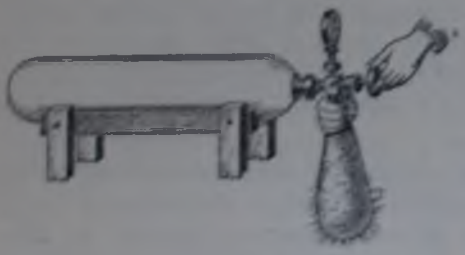


Рис. 127. Получение твёрдой двуокиси углерода.

Углекислый газ не может быть превращён в жидкость при атмосферном давлении (при обычных температурах). Поэтому жидкий CO_2 хранится в стальных бутылях. Если же его из бутыли вылить, он начинает быстро испаряться; другая часть его благодаря сильному охлаждению начнёт обращаться в твёрдое состояние. Спрессованная твёрдая двуокись углерода и представляет сухой лёд.

Сухой лёд можно приготовлять не только из дыма: углекислый газ можно получать из других отходов, а также из природного сырья. Дымовой газ от угля, сжигаемого в топках, содержит 15—18% углекислого газа. При производствах синтетического аммиака или цемента отходящие газы имеют значительно более высокий процент углекислого газа. Насыщены углекислым газом и некоторые минеральные источники, богаты отходами его также заводы спиртоводочные и пивоваренные.

Сухой лёд в виде брусков и цилиндров выдерживает перевозку в течение нескольких дней и сохраняется в твёрдом виде.

Завод сухого льда выпускает небольшие холодильники, от тумбочек комнатного типа до шкафа, в который можно уложить каюту небольшого парохода. Такой шкаф может стоять на любом заводе, заменяя сложную и дорогую холодильную систему, которая и не может быть полностью использована предприятием.

В квартирном холодильнике на 15 *кг* продуктов расходуется всего лишь 1—1,5 *кг* сухого льда в течение суток.

Н. Н. Бекетов

ЧЕМ МЫ ГРЕЕМСЯ ЗИМОЮ?

Ответить на этот вопрос можно, конечно, очень просто: когда солнце греет плохо, мы согреваемся дровами или углем. Это, однако, ничего не объясняет: тут только указание на материал, который даёт тепло, а причина и происхождение этой теплоты не объяснены. На разъяснение этих вопросов решаюсь обратить ваше внимание.

Мы все знаем, что единственным источником нашей искусственной теплоты служит горение дерева или угля при притоке воздуха, без которого не может быть горения; из этого уже ясно, что материал для теплоты — не одни дрова и уголь, но совершенно в равной степени (если ещё не в большей) и воздух. Мы только не обращаем на него внимания, потому что ничего за него не платим, а между тем на одну тонну угля идёт при горении шесть тонн воздуха, или по объёму почти 5 000 $м^3$. Правда, что только пятая часть, именно 1 000 $м^3$, кислорода, заключающиеся в 5 000 $м^3$ воздуха, идёт собственно на горение.

Химические исследования показали, что дерево состоит как бы из угля и воды (т. е. из углерода, водорода и кислорода, последние два в пропорции для образования воды); поэтому в тонне дерева находится до 450 *кг* углерода. При горении дерево превращается за счёт кислорода воздуха в воду и углекислый газ; но так как водород находит кислород в самом дереве, то теплота происходит исключительно от сгорания углерода.

Итак, мы видим, что прямая причина отделения тепла при горении есть химическое соединение углерода дерева с кислородом воздуха.

Перехожу теперь к главному предмету моей статьи: к происхождению этой теплоты, которая как бы собрана и запасена деревом.

Очевидно, что эта теплота находится в дереве не в обыкновенном своём виде, не в таком, например, как в горячей воде. Дерево и воздух, два материала горения, могут быть совершенно холодными, но стоит только нагреть их в одном месте, и от одной искры химическое действие горения распространится во всей массе. Количество выделившейся теплоты не имеет никакого отношения к тому ничтожному количеству теплоты, которое нужно для начала горения.

Откуда же является эта теплота?

Нетрудно доказать, что теплота, которая отделяется при горении дерева и угля, есть не что иное, как солнечная теплота, собранная деревом во время его роста и отделяющаяся потом во время его разрушения.

Простое рассуждение естественно наводит нас на эту мысль. В самом деле, без солнечной теплоты дерево не может расти; его рост даже пропорционален количеству этой теплоты (в тропических странах деревья при одинаковом возрасте выше наших). Одним словом, от теплоты солнца образуется вещество дерева, которое потом отдаёт нам эту теплоту. Но такое рассуждение основано только на предположении и не убеждает нас. Для этого нужны осязательные, опытные доказательства, которые могут быть даны только точными научными исследованиями. Обратив внимание на то, откуда и каким образом берётся в дереве углерод, главный источник теплоты, и сравнив с тем, что образуется при горении дерева, мы нападаем на след самой теплоты.

Н. Н. Бекетов *(1826—1911).*

Исследования показали, что углерод отлагается в дереве из углекислого газа, т. е. из материала, совершенно негодного для нагревания. Процесс, посредством которого дерево накапливает в себе углерод, противоположен тому, который происходит при горении дерева. В случае горения углерод соединяется с кислородом, сгорает, превращаясь в углекислый газ; напротив, при развитии дерева, как показал опыт, кислород отделяется: углекислый газ разлагается, его углерод остаётся в дереве, а кислород выделяется. Там кислород поглощается, здесь он выделяется. Этот процесс выделения кислорода, или, как говорят, восстановления элемента углерода, происходит от действия солнечных лучей. Таким образом, солнце возвращает углю его первоначальную способность нагревать.

С другой стороны, из многих опытов выведен общий химический закон, что при химических соединениях двух веществ отделяется ровно столько теплоты, сколько поглощается её при разложении сложного вещества, из них получаемого. Не такое ли отношение видим мы здесь между явлениями горения дерева и его развития: соединение углерода с кислородом и разложение углекислого газа на углерод и кислород. Следовательно, при образовании дерева поглощается столько же теплоты, сколько развивается при его горении. Откуда же дерево может брать теплоту, как не от солнца? Другого источника теплоты мы не знаем.

Итак, основываясь на этих данных опыта, мы вправе сказать, что теплота, отделяющаяся при горении дерева, есть теплота, поглощённая при его образовании, т. е. — что это есть солнечная теплота.

В природе всегда находится большой запас углекислого газа и постоянно происходит новое его образование. Он, например, всегда находится в воздухе, хотя и не в большом количестве; но, зная громадный вес всей атмосферы, можно простым вычислением доказать, что если бы весь углекислый газ нашей атмосферы был потреблён в одно лето на образование дерева, то его достало бы, чтобы покрыть густым строевым лесом всю Европейскую Россию. Но такой лес вырастает не в одно лето, он растёт 40—50 лет. Количество углекислого газа в воздухе достаточно, чтобы поддержать растительность на всей Земле в продолжение двух лет.

Из этого видно, что запас углекислого газа в воздухе скоро бы истощился, но горение, дыхание животных и гниение разных растительных остатков постоянно снабжают воздух и почву громадным количеством углекислого газа. И потому постоянное количество углекислого газа есть только накопившаяся разница между потреблением и образованием его. Самые же количества углекислого газа, которые находятся в переработке, вероятно несравненно больше и вряд ли могут быть определены. Это подвижное равновесие между потреблением и восстановлением углерода (или, лучше сказать, между потреблением и восстановлением согревательной силы угля) поддерживается, как мы видели, растительностью с помощью солнца. Поэтому можно сказать по всей справедливости, что солнце греет нас не только летом, но и зимою.

Мало того, мы можем даже сказать, что теплота, которую солнце разливало по земле в самые отдалённые геологические эпохи, когда ещё не было человека и когда рос тот лес, который дошёл до нас в виде неисчерпаемых пластов каменного угля, — что эта теплота сохранилась до нас вместе с этим углем и доставляет нам теперь и долго ещё будет доставлять и тепло, и паровую силу.

Доведя источник нашей теплоты до её постоянного источника, солнца, следует прекратить речь, потому что о происхождении теплоты солнца покуда существуют только более или менее достоверные предположения[1].

(«Речи химика»)

---

[1] По современным данным энергия Солнца пополняется главным образом благодаря радиоактивным процессам. *(Состав.)*

К. Я. Парменов

КРУГОВОРОТ УГЛЕРОДА В ПРИРОДЕ

Углерод является важнейшим элементом нашей планеты, хотя его в 49 раз меньше на Земле, чем кислорода, и в 26 раз меньше, чем кремния. В таблице распространённости элементов он занимает 11-е место; кларк его[1], по определению акад. Е. А. Ферсмана, равняется 0,35. Значение углерода в природе, однако, зависит не столько от количества его атомов, находящихся в различных геосферах, сколько от свойств самого атома элемента и его участия в геохимических реакциях.

На таблице (рис. 128) в схематическом виде изображены главнейшие циклы превращения углерода в природе, происходящие в атмосфере, биосфере, гидросфере и литосфере. В таблице находит отражение и факт активного вмешательства в этот процесс человека с его могучей техникой. Стрелками, направленными в разные стороны, на таблице условно указаны пути поступления углерода в атмосферу и обратные пути его поглощения из атмосферы. Рассмотрим эти пути.

Углерод — важнейшая составная часть живых организмов. С превращением его связаны столь важные жизненные процессы,

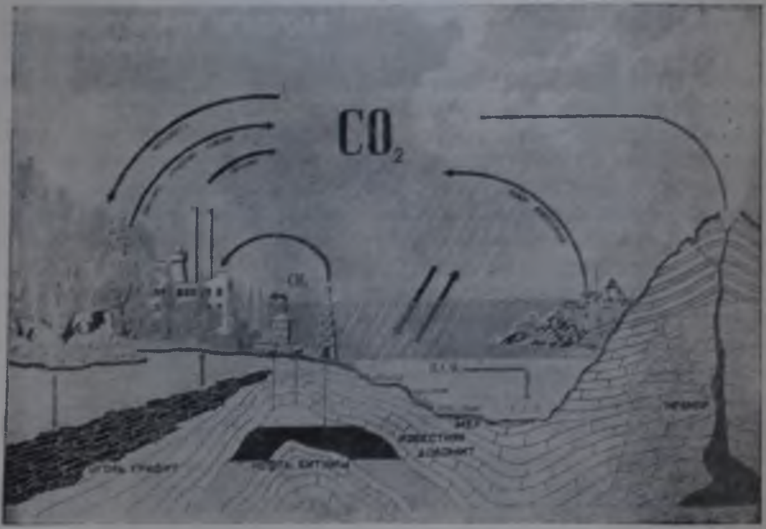


Рис. 128. Схема круговорота в природе.

---

[1] *Кларк* — процентное содержание элемента (весовое) в Земле. Термин введён *акад. Е. А. Ферсманом.*

как ассимиляция — поглощение растением из атмосферы двуокиси углерода (CO_2) и последующее образование углеводов, белков и других органических веществ. Этот процесс осуществляется за счёт энергии солнечных лучей, с помощью хлорофилла зелёных растений, и ведёт к накоплению в растениях запасов солнечной энергии, поглощаемой при разложении CO_2 и переходящей в химическую.

Растениями питаются животные, в результате чего углерод идёт на образование тела животных. Окисляясь при дыхании, углерод тела животных и растений снова выделяется в атмосферу. Горение, тление животных и растительных остатков также ведёт к возвращению углерода в виде CO_2 в атмосферу. К такому же результату приводят и процессы брожения.

Содержание углекислого газа в атмосфере относительно небольшое, всего 0,04%. Однако количество углекислого газа, поглощаемого растениями, в десятки раз превышает его количество в земной атмосфере. По В. И. Вернадскому, углерод, претерпевая различные превращения, много раз в течение одного года поглощается живым веществом и снова выделяется из него.

Но возврат углекислого газа в атмосферу является неполным. Значительная часть углерода, поглощённого живым веществом из атмосферы, не возвращается в неё или возвращается только через долгие геологические периоды, иногда через сотни миллионов лет. Главные пути потери углерода для данного цикла — это образование органических минералов и карбонатов щелочных и щёлочно-земельных металлов — Na_2CO_3, K_2CO_3, $CaCO_3$, $MgCO_3$ и др. Образовавшиеся продукты рассеиваются в земной коре, но иногда дают скопления углерода в виде каменных углей, горючих сланцев, нефти, асфальта, ископаемых смол, известняков, доломитов, мергелей и других минералов и горных пород.

Вмешательство человека частично возвращает в атмосферу этот «ископаемый углерод»: при сжигании угля, горючих сланцев, нефти и т. п. на фабриках, заводах, в паровых двигателях и двигателях внутреннего сгорания он снова возвращается в атмосферу, главным образом в виде CO_2 и реже в виде CO.

Большие скопления углерода, выходящего из жизненного цикла, образовались в прежние геологические эпохи и образуются в настоящее время при наличии соответствующих условий не на суше, а в водной среде. Здесь осаждаются продукты, из которых образуются угли, нефти, битумы, сапропелиты. К последним относятся породы, образовавшиеся из сапропеля — гнилостного ила из микроскопических растений, трупов и отбросов водных животных (горючие сланцы, богхед и некоторые другие сорта угля). При жизнедеятельности простейших, кораллов, моллюсков и других животных очень много углерода связывается путём образования карбонатов. В течение геологического времени эти процессы привели к осаждению огромного количества карбонатов, содержащих углерод в несколько сот раз больше, чем всё его количество в атмосфере, океане, живом веществе, каменном угле и нефти (в запасах, технически доступных человеку).

Вмешательство человека и здесь приводит к образованию свободного углекислого газа: из карбонатов при получении извести и производстве цементов, при технических процессах, основанных на брожении, например при хлебопечении, виноделии, пивоварении и т. п.

Несомненно, что с развитием техники количество CO_2, возвращаемого в атмосферу, прогрессивно увеличивается и принимает такие размеры, что их уже нельзя не учитывать при изучении геохимических процессов. По Кларку, ещё с 1919 г., при сжигании только одного каменного угля человек возвращает в атмосферу свыше 1 млрд. *т* CO_2, что составляет уже около 0,05% всей массы этого газа в атмосфере (2200 млрд. *т*). Таким образом, человек с его мощной современной техникой стал новым значительным геохимическим фактором.

Приводит ли эта деятельность человека к увеличению количества CO_2 в атмосфере, а вследствие этого и к изменению климата земли в сторону его потепления? — Вопрос этот является ещё невыясненным. Дело в том, что культурная деятельность человека ведёт и к обратному процессу — увеличению площади, занятой под культурными растениями, что связано с поглощением углекислого газа из атмосферы. Акад. В. И. Вернадский говорит, что, может быть, здесь «выдерживается среднее динамическое равновесие, столь характерное для явлений в биосфере».

В огромных количествах углерод содержится в газах (в виде CO_2, CO и CH_4), выделяющихся из вулканов во время извержений. Вычислено, что один только вулкан Котопахи в течение года выделяет свыше 10 млн. *т* CO_2. В прежние геологические периоды, когда вулканическая деятельность была более усиленной, в атмосферу выделялись очень большие количества углекислого газа. Газы некоторых вулканов почти целиком (до 97%) состоят из CO_2. Если в составе газов действующих вулканов находится окись углерода вместе с другими горючими газами (H_2, CH_4, S_2 и др.), то при соединении с кислородом эти газы воспламеняются, и из кратера начинает выбрасываться настоящее пламя. При этой реакции воспламенения из окиси углерода и кислорода образуется CO_2. В большом количестве выделяется углекислый газ из земли в затухших вулканических областях (углекислые источники, термы[1], фумаролы[2], земные трещины и т. п.).

Близ Неаполя в Италии значительной известностью среди местных жителей и путешественников пользуется так называемая

---

[1] *Термы* — естественные тёплые или горячие источники с температурой, превышающей среднюю годовую температуру окружающей местности.

[2] *Фумаролы* — газовые выделения из трещин на склонах вулкана во время и долгое время спустя после извержения.

«Собачья пещера». Человек, попадающий в эту пещеру, чувствует себя нормально, а собака задыхается. В чём же здесь загадка? Оказывается, что в пещере из земли выделяется углекислый газ. При отсутствии вентиляции он, будучи тяжелее воздуха, скапливается слоем около полуметра толщиной у поверхности земли, достигая концентрации 14%. Такое насыщение воздуха углекислым газом смертельно для всех животных. Задохся бы в такой атмосфере и человек, если бы он вздумал отдохнуть, лёжа на земле.

Таких мест на земле очень много. Наибольшей известностью пользуется глубокая тёмная долина, образовавшаяся из кратера потухшего вулкана, — «Долина смерти» на о. Ява, в которой такие крупные животные, как кабаны, тигры, спускаясь туда, погибают от удушения. «Пасть смерти» в Западной Америке — другой образчик такой ловушки.

В каменноугольных копях и нефтяных месторождениях углерод выделяется главным образом в виде метана CH_4 (рудничный газ), являясь иногда причиной ужасных катастроф.

Много метана выделяется из болот («болотный газ»), где он образуется при гниении растений. Если растормошить палкой тину на дне болота, метан будет выделяться в виде пузырей. При замерзании болот скопления метана иногда образуются подо льдом. Если пробить отверстие во льду над таким пузырём и поднести к нему спичку, газ будет гореть в виде факела. Такой «опыт» прекрасно описан в книге А. Н. Толстого «Детство Никиты».

Все описанные выше процессы должны были в конечном итоге привести к значительному накоплению в атмосфере углерода в виде углекислого газа (так как CO и CH_4 постепенно окисляются в CO_2). Но в природе есть мощный регулятор количества CO_2 в атмосфере — масса воды морей и океанов. Вода выделяет углекислый газ в воздух, когда упругость находящегося в воздухе углекислого газа уменьшается, и поглощает его обратно, если упругость паров увеличивается.

Означенная закономерность имеет огромное значение в химии земной коры. Роль этого факта станет ещё более понятной, если принять во внимание, что общая площадь океанов, морей и пресноводных бассейнов почти в 10 раз превышает площадь, занятую растительностью суши.

С понижением температуры растворимость CO_2 в морской воде возрастает, а с повышением уменьшается. Поэтому воды Арктики и Антарктики и вообще воды больших широт обычно недосыщены углекислым газом, и, наоборот, тепловые экваториальные воды часто им пересыщены. Некоторые учёные в этом именно факте видят причину образования и значительного накопления карбонатных осадков в тёплых морях и океанах и отсутствие их в холодных.

Углекислый газ поступает в водоёмы вместе с дождём или непосредственно растворяется в поверхностных водах. Воды океана всегда содержат растворимые бикарбонаты и газообразный углекислый газ. Замечательно всё же, что морская вода всегда является слабо щелочной — факт, имеющий огромное значение для жизни водных организмов.

В итоге можно отметить следующие пути поступления углерода в атмосферу: а) при вулканических выделениях, б) из углекислых источников, в) в виде природных газов в каменноугольных копях, нефтяных месторождениях и т. п., г) из вод океанов, морей и пресноводных бассейнов, д) при дыхании животных и растений во время их жизни, е) при химических процессах, происходящих после смерти животных и растений, ж) при процессах брожения, з) при горении, и) обжиге карбонатов.

Поглощение углерода из атмосферы происходит: а) при процессах ассимиляции и образовании соединений углерода, устойчивых в пределах тела организмов при их жизни, б) при процессах превращения продуктов жизнедеятельности животных в минералы, содержащие углерод, в) при поглощении углекислого газа водой океанов, морей, рек и т. п.

Перечисленным далеко не исчерпываются пути перемещения (миграции) углерода. Одним из источников углекислого газа в атмосфере, несомненно, является, например, космический углерод: при сгорании угольных метеоритов непрерывно увеличивается количество CO_2 в земной атмосфере. Несомненно также образование углекислого газа и путём синтеза в глубинных пространствах Земли (так называемый ювенильный CO_2). Если, например, поверхностные воды, содержащие кислоты, проникают до карбонатных пород, то в результате их взаимодействия будет выделяться углекислый газ. Термическое разложение карбонатов (известняков, мела, мрамора) в недрах Земли также ведёт к образованию углекислого газа. С другой стороны, углерод связывается, когда происходит выветривание минералов, содержащих кремний и алюминий (силикатов и алюмосиликатов); при этом процессе углерод замещает в минералах кремний.

Эти процессы не отражены в схеме, и без того довольно сложной. Поэтому схема не является исчерпывающей, но нельзя скидывать со счёта и эти процессы.

Анализ процессов, отображённых в таблице, должен привести нас к несомненному выводу, что природу нужно рассматривать «не как случайное скопление предметов и явлений, оторванных друг от друга, а как связное, единое целое, где предметы, явления органически связаны друг с другом, зависят друг от друга и обуславливают друг друга» («Краткий курс «истории ВКП(б)», стр. 101).

Б. Могилевский

ПОБЕДА НАД РУДНИЧНЫМ ГАЗОМ

Взрывы газа в каменноугольных шахтах Англии ежегодно уносили тысячи жертв. Никакой техники безопасности не существовало, рабочий день шахтёра не был регламентирован, каждый рабочий поминутно находился под страшной угрозой гибели. Но ужасный взрыв, происшедший в 1812 г. в Ньюкэстле, на шахте Феллинга, привёл в содрогание всю Англию. В течение нескольких секунд было убито сто человек. Под похоронный звон колоколов наверх поднимали до неузнаваемости изуродованные трупы. Сотни людей остались калеками на всю жизнь. Крики жён и детей разрывали сердца. Эта катастрофа переполнила чашу страданий, глухой ропот перерастал в активное революционное выступление.

Положение Дэви, к которому обратились с просьбой что-то придумать, чтобы обезопасить работу шахтёров, было нелёгким. Никто в свете, в том числе и сам Дэви, не знал, что можно в данном случае предложить.

Но на карте стояли жизни тысяч людей. Учёный, который предложит миру способ избежать подземных катастроф, поистине заслужит имя великого человека, его заслуги никогда не забудут шахтёры, их семьи будут навеки благодарны ему, сохранившему жизнь отцам, братьям, сыновьям.

Предстояло заняться этой проблемой; провал в этом серьёзном деле был бы провалом всей карьеры учёного. Дэви сознавал всю ответственность, но был настолько уверен в своих силах, что принял предложение шахтовладельцев. Он выдал миру вексель, но сможет ли его оплатить?

В лаборатории Королевского института готовятся к решающим событиям. Дэви охвачен одним порывом — он должен найти способ предотвращения подземных катастроф. Рудничный газ должен быть побеждён.

Как долго может продолжаться позорное положение, при котором гибнут тысячи ни в чём неповинных людей?

Рудничный газ метан не имеет запаха, и его присутствие трудно обнаружить. Смешиваясь с воздухом, метан образует взрывчатую смесь. Вентиляционных устройств во времена Дэви почти не существовало; достаточно было огонька шахтёрской коптилки, чтобы вызвать непоправимое несчастье.

Газ взрывается, рушатся своды выработок. Страшная сила газа разрывает на куски людей, застигнутых на рабочих местах. Начавшись в одном месте, взрыв мгновенно распространяется по всем участкам шахты, гибнут сотни людей. Катастрофу заканчивает пожар, и спасательные команды ещё долго не могут добраться через огонь и хаос разрушения к месту гибели шахтёров.

Но освещать угольные копи необходимо — в чёрном мраке подземелья работать невозможно. Нужен светильник, огонь которого не приходил бы в соприкосвение со взрывчатой смесью.

Дэви и Фарадей работают над изучением пламени. Добыв немного взрывчатого газа, Дэви изучает его свойства. Он пробует отделять взрывчатое вещество от источника света. Подбирает различные колпачки, сетки... Наконец через две-три недели напряжённых поисков он делает своё знаменитое открытие. Когда горящая лампочка, покрытая металлической сеткой, была помещена в баллон, наполненный взрывчатой смесью, произошло чудо — газ не взорвался. На этот раз в лаборатории не валялись на полу осколки стекла и приборов: как только лампа оказалась в газовой среде, внутри сетки, окружающей язычок пламени, что-то вспыхнуло и сейчас же потухло. В баллоне остался невзорвавшийся рудничный газ. Может быть, это не тот газ, который приготовили заранее, может быть, его подменили? В этот день много раз повторяли опыт, и каждый раз в сетке что-то вспыхивало, и лампа гасла. Очевидно, газ, проникавший вместе с воздухом через отверстия сетки лампы, взрывал и тушил там пламя. Но самое замечательное состояло в том, что через металлическую сетку взрыв из лампы не передавался наружу, и взрывчатая смесь в баллоне не взрывалась.

Проблема была разрешена. Дэви удалось остроумно использовать хорошую теплопроводность металлической сетки и, окружив ею обычную масляную лампу, предотвратить распространение пламени во внешнюю атмосферу, наполненную взрывчатым рудничным газом[1].

Гроузер пишет: «Два великих события потрясли Англию в 1816 году: победа Веллингтона над Наполеоном и победа Дэви над рудничным газом».

Изобретение Дэви испытывалось на покинутой из-за насыщенности газом шахте.

По узким лесенкам, под непрерывными струями мутных ручьёв воды несколько смельчаков во главе с Дэви спустились по стволу шахты до самого дна. Тусклый свет лампочки Дэви освещал чёрные от сырости деревянные стены шахтного колодца. Тишина. Только непрерывно булькают падающие с большой высоты тяжёлые капли воды. Вошли в подземную галерею. Такие горизонтальные выработки горняка называют штольнями. Жёлтый луч скользит над головами шахтёров и, подпрыгивая, бежит дальше. Смоченное водой, поблёскивает чёрное золото. При повороте в тупик лампочка неожиданно издала звук хлопушки, ярко вспыхнула и тут же потухла.

Молча, понимая величие минуты, возвращались в темноте смельчаки, согласившиеся вместе с сэром Дэви спуститься в гиблую шахту.

---

[1] Фарадей участвовал в этой работе, и Дэви пишет: «Я чувствую себя весьма обязанным Михаилу Фарадею за содействие при моих опытах».

... Лампочка Дэви. Под этим именем её знают во всём мире, она оказалась спасительницей шахтёров.

Гемфри Дэви предложили взять патент на его изобретение, он смог бы ежегодно получать громадный доход от продажи права на производство безопасных ламп. Но последовал твёрдый отказ. Дэви заявил, что единственное его желание — всегда служить человечеству, и «лучшим вознаграждением за мои работы будет сознание того, что я сделал добро мне подобным».

Он не хотел своим патентом ставить препоны быстрому распространению важного изобретения, сохраняющего жизни многих сотен тысяч подземных рабочих.

Вскоре лампочка Дэви стала необходимейшим предметом шахтёрского снаряжения на каменноугольных шахтах всего мира. Она позволила широко развиваться угольной промышленности. Общему ликованию всех сколько-нибудь связанных с добычей угля не было пределов. В угольных районах Дэви стал наиболее популярным человеком Англии.

В 1817 г. «благодарные» шахтовладельцы подарили Дэви ценный серебряный сервиз стоимостью в 2 500 фунтов стерлингов. Подарок этот был, в сущности, скромным. Гениальное изобретение Дэви, даже в условиях капитализма, поднимало угольную промышленность сразу на несколько ступеней выше.

(*«Гемфри Дэви», серия «Жизнь замечательных людей»*, 1937 г.)

Сванте Аррениус

КУЛЬТУРНАЯ ЦЕННОСТЬ КРЕМНИЕВОЙ КИСЛОТЫ

Каменная и костяная утварь вместе с огнём были главными пособниками в обиходе человека в древнейшие времена каменного века, так называемого палеолитического периода. Во время перехода от древнейшей к более поздней каменной эпохе появляется новый материал, имеющий громадное значение для человечества, — обожжённая глина. В датских становищах — доисторических остатках человеческих поселений — и в кучах более позднего периода древнего каменного века находят черепки очень грубых горшечных изделий. Без сомнения, человек обязан случаю, научившему его искусству изготовлять вещи из обожжённой глины; вероятно, его внимание обратили на себя твёрдые куски глины, применённой в качестве очага. При действии огня они спеклись и не разбухали более в воде. Это повело человека к открытию нового, особенно полезного для него материала.

Первые глиняные горшки, без сомнения, были сделаны так, что находящаяся везде в большом количестве на поверхности земли глина была замешана с водой в мягкую пластическую

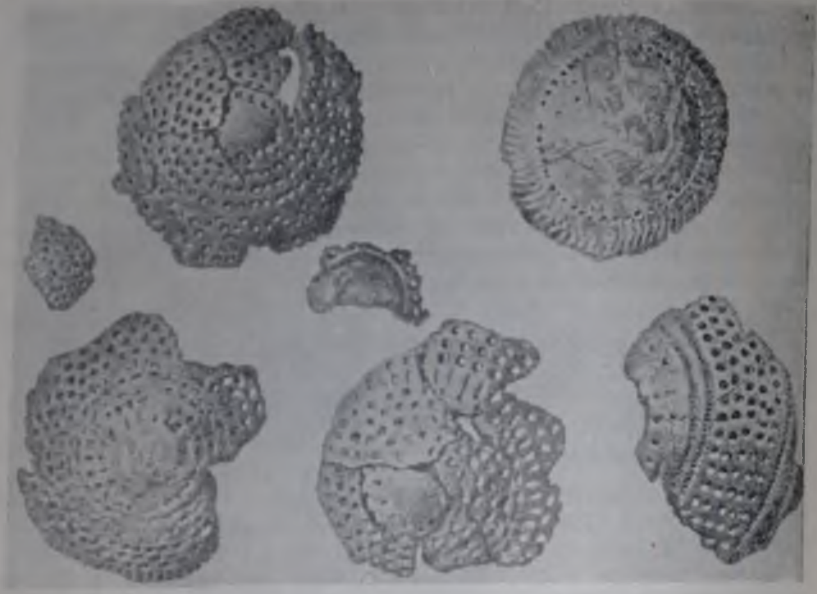


Рис. 129. Образцы глиняных черепков от посуды каменного века.

массу; эта масса была руками распластана в пластины, из которых были вылеплены желаемые сосуды и потом обожжены.

Этот первоначальный метод ещё до сих пор в ходу у многих африканских и американских племён. Гораздо позже, вероятно в Египте, изобретён вращающийся круг. Он очень облегчает изготовление всякого рода глиняных сосудов. Но даже и без этого приспособления умели делать очень красивые сосуды. Производство глиняных сосудов имело большое значение для развития художественного чувства человека, так как глина прямо-таки требует орнамента. Наблюдали, конечно, что отпечатки пальцев, случайно оставшиеся на вылепленных предметах, сохранялись после обжига, и стали находить удовольствие, делая украшения правильным расположением таких отпечатков. Впоследствии пришли также к мысли делать эти украшения, выдавливая их в глине при помощи какого-нибудь острого орудия.

Силикаты, т. е. соли кремниевой кислоты, принадлежат к наиболее распространённым в твёрдой земной коре веществам. Поэтому они имеют для нас большое значение. Несмотря на это, их химические свойства сравнительно мало изучены. Это зависит от того, что они большею частью нерастворимы и мало поддаются действию реагентов. Они тугоплавки и с трудом кристаллизуются из расплавленного состояния при охлаждении. Чистая глина называется каолином. Её состав выражается химической формулой:

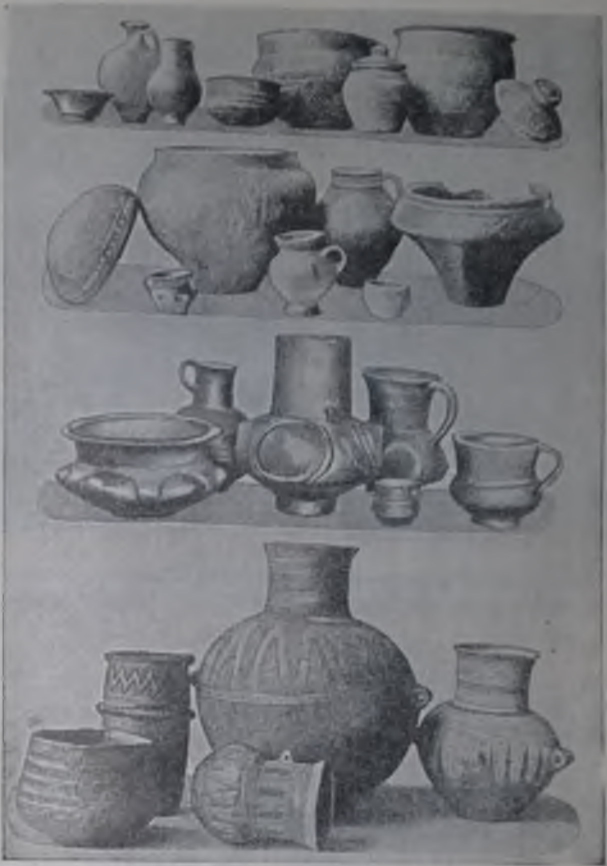


Рис. 130. Доисторические глиняные сосуды, расположенные в хронологическом порядке.

$(SiO_2)_2 \cdot Al_2O_3 \cdot 2H_2O$. Чистый каолин белого цвета и употребляется для выделки фарфора. Он образуется при выветривании полевого шпата. При 500° он теряет воду и частично распадается на кремниевую кислоту и окись алюминия, растворимую в соляной кислоте. При дальнейшем нагревании до 900° кремниевая кислота снова соединяется с окисью алюминия, которая тогда уже не растворяется соляной кислотой. На этом и основано действие обжига на глину.

Обыкновенная глина окрашена в серый цвет органическими веществами. Она обыкновенно содержит железо, которое сообщает черепице её красный цвет. Присутствие извести в виде грубых зёрен вредит тем, что они при обжиге переходят в обожжён-

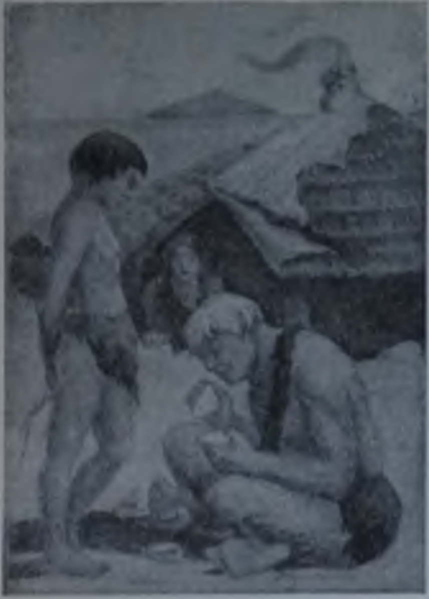


Рис. 131. Приготовление кремнёвого оружия и орудий в каменном веке.

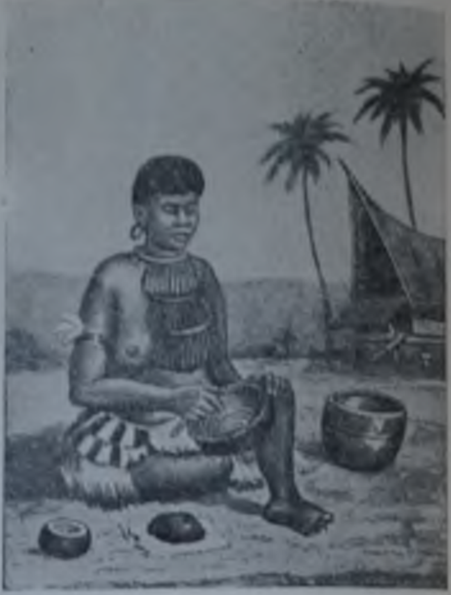


Рис. 132. Производство гончарных изделий на Новой Гвинее *(в начале XX в.)*.

ную известь, поглощающую влагу из воздуха, — при этом глиняная вещь, например черепица, трескается.

Свободная кремниевая кислота уменьшает окрашивание железом. Содержание гипса в глине вызывает белый налёт на черепице. Часто наблюдается желтоватый оттенок; он вызывается гидратом окиси железа. Многие глины, содержащие силикат железа, окрашены в зелёный цвет. Чистый каолин очень тугоплавок, или, как говорят, огнеупорен. Он плавится при 1800°, но спекается уже при 1400°. Примеси понижают точку плавления. Во всех почти глинах находится слюда. Её присутствие благоприятно действует на обжигание глины, так как она играет роль плавня, понижая точку плавления; но она должна быть очень мелкозернистой, так как иначе получается неравномерная масса. Обыкновенная черепица, содержащая известь и железо, сравнительно легкоплавка.

Каолин состоит из чрезвычайно мелких кристалликов. Если замутить его в воде, то он оседает медленно. Образовавшаяся в воде молочная муть может сохраняться месяцами. Осаждение ускоряется в присутствии солей. Ил, содержащий глину и увлекаемый реками, осаждается поэтому на дно вблизи берегов, если река впадает в море (смешиваясь с солёной водой), и, напротив того, далеко от устья, если она смешивается с пресной водой.

Применение глины для гончарных изделий основывается на её пластичности. Эта пластичность зависит от формы частиц глины, имеющих вид тонких листочков. Грубо зернистый каолиновый песок не обладает пластичностью и не может применяться для производства фарфора. Напротив того, очень пластичен смоченный водой слюдяной порошок, и ещё в большей степени толчёный глауконит — силикат, содержащий окиси калия, магния и железа, а также воду. Оба эти минерала состоят из тонких кристаллических листочков.

В гончарном деле, после того как материал очищен отмучиванием, производятся следующие операции: 1) замешивание с водой, 2) формовка, 3) высушивание и обжигание и, наконец, если нужно, 4) глазировка.

При высыхании изделий большая часть воды улетучивается, и предметы сокращаются в объёме. Это усыхание составляет 2—20%, смотря по содержанию воды и песка в глине. Оно позволяет легко вынимать сформированные предметы из пористых форм, в которых их сушили. При обжиге происходит дальнейшее усыхание, и притом тем большее, чем выше температура обжига. Эта усадка, причина которой ещё не выяснена, вызывается, повидимому, тем, что некоторые составные части глины плавятся.

После испарения воды в массу проникает воздух и делает предмет до известной степени пористым, что желательно для многих целей, например для изготовления дренажных труб и фильтров.

Чтобы сделать глиняные сосуды водонепроницаемыми и придать им более красивый вид, их покрывают глазурью. Глазурь есть то же стекло, состоящее главным образом из соединений натрия, свинца, олова, бора вместе с кремнезёмом и глиной. Обожжённые глиняные предметы покрываются глазирующей смесью подходящего состава и снова нагреваются. Кремниевая кислота способна при нагревании вытеснять другие кислоты: угольную, соляную и т. д. Это зависит от того, что эти кислоты летучи при высокой температуре, тогда как кремниевая кислота нелетуча.

Самая простая глазировка носит название «соляной» и производится просто тем, что во время обжига бросают в печь поваренную соль. Она при этом улетучивается, и влажные пары её соприкасаются с глиняным предметом, благодаря чему кремниевая кислота вступает во взаимодействие с хлористым натрием и образует стекло, остающееся на поверхности глины и покрывающее её. Так, например, глазируют глиняные бутылки для минеральной воды. Впоследствии нашли, что окись свинца очень удобна для глазури, и стали покрывать неглазированные обожжённые предметы смесью соли свинцовых белил или сурика с кварцевым песком, глиной и мелом и нагревать достаточно сильно для плавления этого слоя. Для получения непрозрачной белой глазури прибавляют окиси олова, дающей молочно-белую окраску. В фаянсовых глазурях применяют олово с четырьмя частями свинца.

При глазировании возникает затруднение, вызываемое различным расширением глазури и обожжённой глиняной массы. При охлаждении обыкновенно глазурь сжимается сильнее, чем глиняная масса, и вследствие этого в глазури образуются трещины, в которые забивается пыль, и потому портится внешний вид изделия. Эти трещины образуются вновь или увеличиваются при частых колебаниях температуры, например, если мыть фаянс и фарфор слишком тёплой водой. Иногда глиняная масса сжимается сильнее, чем глазурь, тогда последняя местами отпадает, а это ещё хуже, чем трещины.

Чтобы получить настоящий просвечивающий фарфор, его нужно при обжиге нагреть настолько сильно, чтобы он наполовину расплавился. Для того чтобы не потерялась форма, надо делать подпорки, и всё-таки получается много брака. Изделия такого рода становятся дорогими и остаются предметом роскоши. Наиболее дешёвым является глазированный окисью олова фаянс, обожжённый при 1000°. Это устраняет значительное сокращение объёма после обжига. Благодаря незначительному сокращению при обжиге и прочности массы не наступает искажения формы и получается сравнительно мало брака. Это и есть тот сорт фарфора, который употребляется в ежедневном обиходе и имеет наибольшее практическое значение.

Важное значение имеет гончарная глина, которая при обжигании плавится частично и этим подходит к настоящему фарфору. Она отличается от этого последнего, однако, тем, что не просвечивает; это зависит от примеси грубого кварцевого песка, который не растворяется в остальной массе. Она, кроме того, сильно окрашена соединениями железа и марганца. Посуду делают довольно толстостенную, так что она, несмотря на частичное плавление при обжиге, не теряет своей формы. Эту глину часто глазируют, бросая в печь при самой высокой температуре поваренную соль. Если нужна особенная водонепроницаемость, то глазируют смесью буры или мела с полевым шпатом.

Чем чище глина, чем более приближается она к составу каолина, тем выше её точка плавления; для каолина она равна 1800° Обыкновенно качество огнеупорных кирпичей считается хорошим если их точка плавления лежит между 1650 и 1750°. Прибавлени кварца понижает точку плавления, но в незначительной степен при прибавлении 10 частей кварца на одну часть каолина точк плавления падает только до 1600°. При дальнейшем прибавлен кварца точка плавления снова повышается до точки плавлен чистого кварца (1770°). Вследствие высокой точки плавлен кварца он сам перерабатывается на огнеупорные кирпичи, котор имеют то большое преимущество, что не сокращаются при вы кой температуре, подобно глиняным кирпичам, если даже подвергаются действию более высокой температуры, чем тем ратура их обжига.

Высокая температура обжига для чистой глины, даже с примесью кварца, делает примесь посторонних силикатов щелочных металлов желательной. Иногда их прибавляют искусственно, чтобы понизить точку плавления. Качество китайского фарфора зависит от прибавления чрезвычайно тонкозернистой калийной слюды. При известных условиях калийный полевой шпат распадается на кварц и слюду. Один из таких продуктов распада, называемый петунцией, встречается в Китае и прибавляется к каолину при приготовлении глины. Начало китайской фарфоровой промышленности относится приблизительно к 200 г. и достигает высокого развития при династии Минк (1368—1664). Вследствие чрезвычайно тонкой зернистости китайская фарфоровая масса обладает большой пластичностью, что является громадным преимуществом при производстве.

Большое совершенство этрусских глиняных ваз, которые находят в громадном количестве в Италии, зависело от нахождения в этой местности глины с большим содержанием слюды, а также железа и извести; глина эта особенно легкоплавка и обжигается при 1000°. При 1070° она плавится в бурое стекло. Если превысить температуру обжига только на 25°, то масса размягчается и окрашивается в бурый цвет. Нужно было большое искусство, чтобы точно поддерживать температуру обжига, — оно, бесспорно, заслуживает удивления. Эти глиняные изделия окрашены в красный цвет и украшены чёрными рисунками. Этрусские изделия отличаются иногда очень изящной, тонкой работой при крупных размерах (находят вазы до 50 сантиметров в диаметре, и нельзя не удивляться необычайному искусству этих ремесленников седой древности).

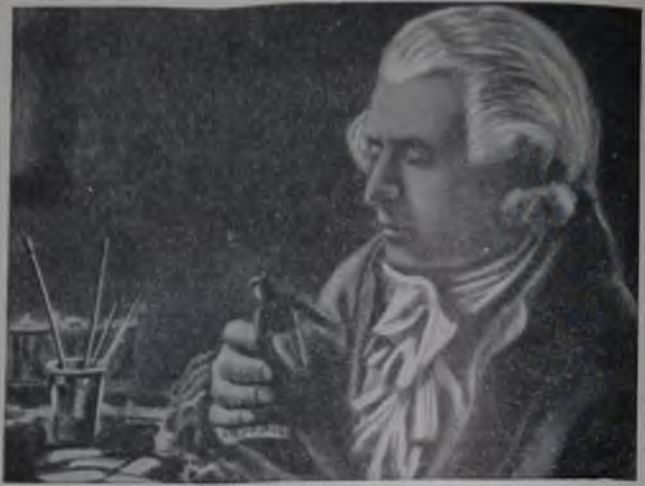
(«Химия и современная жизнь», 1924 г.)

М. А. Безбородов

ДМИТРИЙ ИВАНОВИЧ ВИНОГРАДОВ

Деятельность выдающегося русского техника XVIII века Д. И. Виноградова, современника Ломоносова, талантливого учёного и создателя первого русского фарфора, до сих пор ещё не получила достаточной и сколько-нибудь полной оценки. В течение долгого времени — более полутораста лет после его смерти — имя Виноградова было в полном забвении. Лишь с начала XX столетия оно изредка и лишь попутно начинает упоминаться в отдельных статьях в связи с историей первого русского фарфора...

В иностранной литературе, а также и в некоторых русских изданиях история возникновения фарфорового производства в России изображалась большей частью в совершенно искажённом виде. Получение первого русского фарфора приписывалось ино-



Д. И. Виноградов (*1720—1758*).

странцам, а действительный создатель его, Виноградов, вовсе не упоминался. Наш долг поэтому восстановить на основании подлинных исторических данных, архивных и музейных материалов действительную роль Виноградова, незаслуженно забытого на протяжении долгих годов.

Виноградов родился в древнем русском городе Суздале, о котором летописи упоминают уже в 1024 году. Дата его рождения до сих пор твёрдо не установлена. По всей вероятности, это был 1720 год, хотя по некоторым источникам годом его рождения считается 1717. Его отец, Иван Степанович Виноградов, был протопопом и ключарём суздальского Рождественского собора и умер в 1741 году. Вместе со своим братом Яковом Дмитрий Иванович Виноградов обучался в Московской славяно-греко-латинской академии, помещавшейся в Москве, в Заиконоспасском монастыре. Яков Виноградов принадлежал к богословскому классу, а Дмитрий Виноградов — к философскому. В этом же философском классе вместе с Дмитрием Виноградовым находился в то время и Ломоносов — оба они из класса риторики перешли в философский класс в 1735 году.

Ещё в 1718 году Пётр Первый издал приказ: «сделать в Петербурге академию и приискать из русских, кто учён и к тому склонность имеет», а в 1720 году он повелел вызвать из московской Заиконоспасской академии несколько учеников в Петербург. Однако сам Пётр не дожил до открытия академии. Первый вызов учеников из Москвы в Петербург состоялся лишь в 1735 году. Требовалось прислать из Москвы 20 учеников, «которые бы столько научились, чтобы у профессоров лекции слушать и в высших науках с пользою происходить могли». Ректор московской академии Стефан Калиновский сумел набрать только 12 подходящих человек. В их число попали Ломоносов и оба брата Виноградовы. Молодые люди в сопровождении отставного прапорщика Василия Попова прибыли из Москвы в Петербург 2 января 1736 года.

Сохранились весьма интересные и характерные сведения об отношении студентов, товарищей Виноградова, к немцам, которые тогда занимали многие командные посты в России. Так, например, по распоряжению начальства один из студентов, Прокопий Шишкарёв, был наказан батогами за укоризны и брань по адресу немцев. Трое из этой же группы товарищей Виноградова оказались позже в числе лиц, подавших Елизавете Петровне при восшествии её на престол жалобу на Шумахера, что он враг русского народа и покровительствует иностранцам. Таковы были настроения в среде товарищей Виноградова. Настроения эти были, как известно, не единичными; они проявлялись в различных слоях населения. Этот протест против немецкого засилья был вполне справедлив и понятен. Приглашённые из-за границы иностранцы, и в частности немцы, были поставлены в России в привилегированное положение по сравнению с другим населением; они должны были способствовать росту русских людей, но никак не противодействовать ему. На деле же получалось наоборот. Ломоносову позже, в его бытность в Академии наук, пришлось вести серьёзную борьбу против немецкой партии, ставившей всюду своих и мешавшей продвижению и подготовке русских людей.

Прибывшему из Москвы Дмитрию Виноградову не пришлось надолго задержаться в Петербурге. 5 марта 1736 года, т. е. через два месяца после прибытия студентов в Петербург, «главный командир» Академии наук барон Корф представил императорскому кабинету доклад об отправке нескольких наиболее способных студентов в «немецкие земли» для изучения там химии и металлургии. 18 марта вышел указ об откомандировании Виноградова, Ломоносова и Райзера за границу.

6 ноября по старому стилю (или 17 по новому) Виноградов со своими товарищами — Ломоносовым и Райзером — вступили в стены Марбургского университета. Это был в то время крупный научный и учебный центр, где было собрано много выдающихся учёных и педагогов того времени. Особенно привлекал внимание тогдашнего культурного мира профессор-философ Вольф.

Здесь Виноградов изучил немецкий и французский языки, ознакомился с основаниями механики, арифметики, геометрии и тригонометрии, слушал лекции по теоретической химии, экспериментальной физике, гидравлике, гидростатике и аэрометрии.

Он занимался также рисованием и основами маркшейдерского искусства, логикой и метафизикой.

После почти трёхлетнего пребывания в Марбурге, получив значительную по тому времени научно-теоретическую подготовку, Виноградов со своими товарищами 20 июля 1739 года покинул Марбург и направился во Фрейберг. Здесь ему предстояло изучить под общим руководством профессора Иоганна Генкеля преимущественно прикладные науки — металлургию, различные отрасли химической технологии, а также все смежные дисциплины.

Судя по дошедшим до нас отзывам, Виноградов успешно изучил здесь такие предметы, как практическую архитектуру и горную механику, пробирное и маркшейдерское дело, минералогию, металлургию и ряд других предметов. Здесь он составил каталог различных руд, перевёл несколько лекций с немецкого языка на русский, написал несколько статей по плавильному делу, разработке рудников и «фундаментальной химической металлургии». Он посещал рудники и практически знакомился с их работой. Профессор Генкель дал похвальный аттестат о его занятиях. По окончании занятий Виноградов 13 февраля 1744 года прибыл в Петербург. Вице-президент Берг-коллегии Райзер после экзамена, устроенного им лично Виноградову, докладывал 16 октября 1744 года на заседании коллегии:

«Свидетельствовал я Дмитрия Виноградова во всех знаниях, которые к горным и плавильным делам надлежат, его специмины (сочинения. — *М.Б.*), аттестаты и прочие от него слушанные коллегии и примечания прилежно прочитал и его к бергмейстерской должности годна нашел, особливо следующих ради притчин:

1. Понеже я от всех доселе с довольным жалованием и коштом выписанных иностранных мастеров ни одного не знаю, который бы его Виноградова во всех частях горной науки чем перешел, но многие ему в равенство не пришли.

2. В металлургической химии, которая доныне здесь в государстве почти неведома была и которая однако ж всему плавильному делу, так же протчим художествам и новым изобретениям основанием есть, — имеет он доброе искусство».

После необходимых формальностей Виноградову было присвоено звание «бергмейстер», что соответствует примерно горному инженеру.

Так закончилось специальное образование Виноградова, на которое он затратил почти 8 лет за границей и несколько лет перед тем в России в Славяно-греко-латинской академии. Он получил весьма солидную по тому времени научную и техническую подготовку, хорошо знал латинский и немецкий языки, был знаком с французским языком и вполне отвечал тому, что мы называем сейчас широко и разносторонне образованным человеком.

По приезде из-за границы Виноградову предстояла на родине работа по горному ведомству. Присвоение ему звания «бергмейстера» означало, что он намечается для работы при рудниках.

Однако судьба его сложилась иначе. 5 ноября 1744 года в Берг-коллегию поступил указ императрицы, в котором говорилось, что «обретающегося в команде оной коллегии... Дмитрия Виноградова для порученного ему по указу... некоторого дела от команды уволить и более его в ту коллегию не спрашивать, а числить его при кабинете её императорского величества».

Зачисление Виноградова в «ведомство её императорского величества» вызвано было предстоящей организацией в России «порцелинового дела», как называли в то время фарфоровое производство. По собственному выражению Виноградова, он определён был для «присмотра дела порцелина», но, как позже оказалось, его задача была значительно шире и заключалась в организации полностью фарфорового производства в России. Ещё при Петре I, большом ценителе фарфора и фаянса, делались попытки наладить в России изготовление фарфоровой посуды, которую ввозили к нам из Китая по крайней мере с XVII века. Однако все эти попытки оканчивались неудачами, так как фарфоровое производство было засекречено и на родине его — в Китае и в Мейссене, где оно возникло в десятых годах XVIII века. Для налаживания нового дела в России был приглашён по договору немец Христоф Гунгер, выдававший себя за мастера «порцелинового дела» и «арканиста» (т. е. знающего тайну фарфорового производства). Он приехал в Россию осенью 1744 года, незадолго до того, как состоялось зачисление Виноградова в «ведомство кабинета её величества», во главе которого находился тогда барон Иван Антонович Черкасов, бывший сподвижник Петра Великого. Черкасов понимал, что для пользы государства было существенно важно, чтобы новое дело находилось в руках русского человека, преданного интересам своей родины, а не случайного иноземца. Поэтому одновременно с появлением Гунгера в России на то же самое «порцелиновое дело» был назначен и Виноградов. Эта кандидатура была во всех отношениях подходящая: он обладал прекрасной научной и технологической подготовкой и был коренной русский человек, искренне заинтересованный в процветании и успехах своего отечества.

Гунгер сразу же понял, что его помощник сильнее его во всех отношениях, как в области теоретической и практической подготовки, так и в смысле технической инициативы и изобретательности. Почти с самого начала работы он стал делать попытки отстранить Виноградова от дела, стремился окружать себя родственниками и земляками-немцами, дабы обезопасить себя от опасного конкурента и уйти от контроля. Борьба против Гунгера и немецкой компании увенчалась скоро победой Виноградова. Ему удалось сравнительно быстро доказать шарлатанство Гунгера, который обманул русское правительство, заявив, что знает секрет фарфорового дела. Привыкший, подобно многим своим землякам, смотреть на русских как на невежественных и неспособных людей, Гунгер рассчитывал на спокойное житьё и возможность «водить за нос» начальство, получая громадное жалованье и всевозможные материальные блага. Это ему не удалось: Виноградов скоро убедился, что Гунгер имеет лишь случайные, поверхностные и отрывочные сведения об изготовлении фарфора, приобретённые им в Мейссене. 10 ноября 1748 года был дан указ об увольнении Гунгера; деятельность же его прекратилась фактически задолго до увольнения.

После увольнения Гунгера в руки Виноградова полностью перешло всё дело по налаживанию фарфорового производства.

Именно Дмитрию Ивановичу Виноградову, его энтузиазму, его преданности делу, его эрудиции, его личным способностям как инженера и учёного обязана русская техника появлением первого русского фарфора, возникновением фарфорового производства, первым фарфоровым заводом.

Ещё в бытность на порцелиновой фабрике Гунгера Виноградов начал свою работу над подысканием отечественных материалов и рецептов фарфора из них. В конце 1744 — начале 1745 года он едет под Москву на Гжельское месторождение глины, где изучает различные сорта её и способы добычи; первоначально для работы избираются «жировка» и «песчанка».

В первые месяцы 1745 года в б. Олонецкой губернии по поручению Виноградова и по его инструкциям начинаются поиски белого кварца и жерновых камней. В 1745 году он пишет первые свои заметки о фарфоре под названием «Описание сущности фарфора», в которых излагает некоторые сведения о свойствах фарфора и способах его изготовления. В этом же году начинается оборудование фабрики печами, мельницами, закупка кобальта, заготовка сырых материалов и другие работы.

Первый рецепт фарфоровой массы Виноградова имеет дату 30 января 1746 года. Масса содержит кварц, глину и алебастр. Особенно интенсивная работа по подбору оптимального состава массы и глазури ведётся, насколько нам известно, в 1746—1747 годах. Виноградов испытывает различные количественные сочетания указанных компонентов, что видно из его лабораторного журнала, относящегося к этому времени.

Уже в начале 1747 года Виноградов сумел получить некоторые удовлетворительные фарфоровые массы, которыми мог пользоваться для изготовления изделий. В одном из своих рецептов, записанных 30 января 1747 года, он пишет про массу, имеющую пометку «№ 24»: «лучшая, в особенности если материалы хорошо подготовлены».

Виноградову приходится вести упорную борьбу за улучшение качества фарфора, преодолевая всевозможные производственные затруднения. Его лабораторный журнал, имеющий дату 1749—1750 годов, под названием «Записки о фарфоре, как оной производится в мою бытность на кирпичных заводах в Санкт-Петербурге» свидетельствует о том, что Виноградов продолжает вести дальнейшие испытания различных рецептов масс; ведёт опыты с отмучиванием глины, с обжигом кварца, их размолом; применяет различную пластичность масс при формовке; испытывает различные дрова для обжига.

Среди разных записей в эти годы мы встречаем, например, такую фразу (март 1749 года): «Из массы № 12 в горну чашки чайные обжигали с глазурью. Вышли хороши, белы и прозрачисты с глазурью так, как быть должно». Испытания гжельских глин убеждают его в том, что при хорошей их обработке можно добиться лучших результатов, и 29 апреля 1749 года он снова едет в Гжельский район, чтобы там на месте навести порядок с отборкой и сортировкой глин. Обратно в Петербург Виноградов возвращается лишь 13 декабря. Вслед за ним прибывает на завод отобранная им новая гжельская глина («чернозёмка») в количестве около 37 *т*, которую он сразу же пускает в работу.

В 1752 году заканчивается первый этап работ Виноградова по созданию рецептуры первого русского фарфора и организации технологического процесса его производства. Во второй половине этого года он пишет свою монографию «Обстоятельное описание чистого порцелина», где излагает свои теоретические взгляды на фарфор и описывает технологию его производства.

Необходимо добавить, что, помимо разработки рецептуры фарфоровых масс и исследования глин различных месторождений, Виноградов разрабатывал составы глазурей, технологические приёмы и инструкции по промывке глин на месторождениях, вёл испытания различных сортов топлива для обжига фарфора, составлял проекты и строил печи и горны, разрабатывал рецептуру красок по фарфору, а также добивался устойчивости капселей при обжиге. Можно сказать, что весь процесс производства фарфора ему пришлось разрабатывать самому и, кроме того, одновременно же подготавливать себе помощников, преемников и сотрудников различной квалификации и различного профиля.

В результате неустанных трудов Виноградова фабрика достигла больших успехов, как по качеству самого фарфора, так и по разнообразию изделий из него. Русский фарфор уже при Виноградове занял подобающее ему место. Неутомимая энергия Виноградова, его техническая инициатива и изобретательность, глубокая любовь к родине и вера в будущее фарфорового производства в России сделали своё дело. Русский фарфор был получен независимо от заграницы, и производство его было налажено трудами русских людей.

Виноградов твёрдо верил в успех того дела, которому он отдал всю свою короткую, но полную труда и прилежания жизнь. В своей монографии «Обстоятельное описание чистого порцелина» он писал: «Дело порцелина... которое в России... еще почти в начале своего ращения находится, чаятельно со временем к совершенному созрению придя и желаемые плоды принесет».

Прошло двести лет с тех пор, как жил и трудился замечательный русский техник и патриот — Дмитрий Иванович Виноградов.

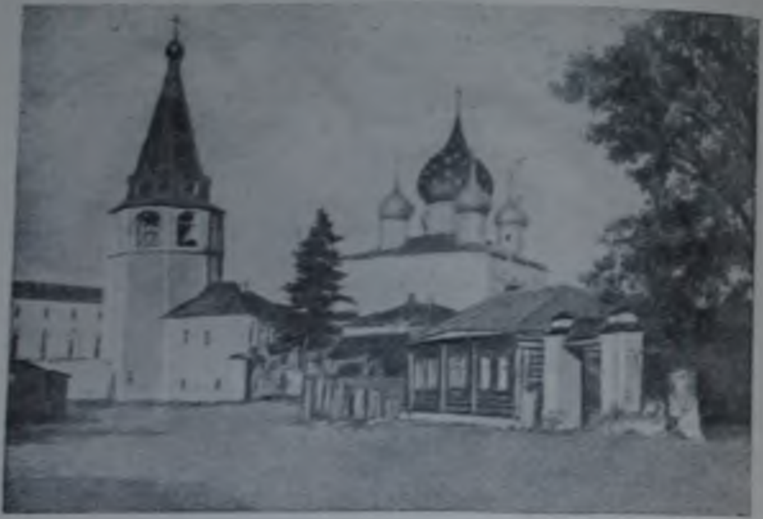


Рис. 133. Дом Виноградовых в г. Суздале Владимирской области.

Предсказание его сбылось. «Дело порцелина», начатое им, действительно пришло «к совершенному созрению»: наш Государственный фарфоровый завод в Ленинграде, на берегу Невы, сейчас один из передовых фарфоровых заводов в мире, марка его хорошо известна везде в Советском Союзе и за границей, и маркой этой по праву гордится любой советский человек. И в этом большая заслуга того, кто был пионером этого дела в России, кто посвятил ему всю свою трудовую жизнь, все свои силы, все свои знания.

(*«Наука и жизнь»*, 1947, 11)

М. В. Ломоносов

«ПИСЬМО О ПОЛЬЗЕ СТЕКЛА»

Неправо о вещах те думают, Шувалов,
Которые стекло чтут ниже минералов
Приманчивым лучем блистающих в глаза́:
Не меньше польза в нем, не меньше в нем краса.
Не редко я для той с Парнасских гор спускаюсь;
И ныне от нея на верьх их возвращаюсь,
Пою перед тобой в восторге похвалу,
Не камням дорогим, ни злату, но стеклу.

И как я оное хваля воспоминаю,
Не ломкость лживого я счастья представляю
Не должно тленности примером тое быть,
Чего и сильный огнь не может разрушить,
Других вещей земных конечный разделитель:
Стекло им рождено; огонь его родитель...
Но что ж от недр земных, родясь, произошло?
Любезное дитя, прекрасное стекло.
Увидив смертные, о как ему дивились!
Подобное тому сыскать искусством тщились.
И было в деле сем удачно мастерство:
Превысило своим раченьем естество.
Тем стало житие на свете нам счастливо:
Из чистого стекла мы пьем вино и пиво
И видим в нем пример бесхитростных сердец:
Кого льзя видеть сквозь, тот подлинно не льстец.
Стекло в напитках нам не может скрыть примесу;
И чисто совесть рвет притворств гнилу завесу.
Но столько ли уже, стекло, твоих похвал,
Что нам в тебе вино и мед сам слаще стал?
Никак! сие твоих достоинств лишь начало,
Которы мастерство тебе с природой дало.
Лекарства, что в стекле хранят и составляют;
В стекле одном они безвредны пребывают.
Мы должны здравия и жизни часть стеклу:
Какую надлежит ему принесть хвалу!
Хоть вместо оного замысловаты Хины[1]
Сосуды составлять нашли из чистой глины;
Огромность тяжкую плода лишенных гор
Художеством своим преобратив в фарфор,
Красой его к себе народы привлекают,
Что плавая, морей свирепость презирают.
Однако был бы он почти простой горшок,
Когда бы блеск стекла дать помощи не мог.
Оно вход жидких тел от скважин отвращает,
Вещей прекрасных вид на нем изображает,
Имеет от стекла́ часть крепости фарфор;
Но тое, что на нем увеселяет взор,
Сады, гульбы, пиры, и все что есть прекрасно,
Стекло являет нам приятно, чисто, ясно.
    Искусство, коим был прославлен Апеллес,
И коим ныне Рим главу свою вознес,
Коль пользы от стекла́ приобрело велики, и
Доказывают то финифти, мозаики,
Которы в век хранят геройских бодрость лиц,
Приятность нежную и красоту девиц;

---

[1] Китайцы. *(Состав.)*

Чрез множество веков себе подобны зрятся,
И ветхой древности грызенья не боятся.

Когда неистовой, свирепствуя, борей
Стисняет мразом нас в упругости своей;
Великой не терпя и строгой перемены,
Скрывает человек себе в толстые стены.
Он был бы принуждён без свету в них сидеть;
Или с дрожанием несносной хлад терпеть.
Но солнечны лучи он сквозь стекло впускает,
И лютость холода чрез то же отвращает.
Отворенному вкруг и запертому быть,
Не то ли мы зовем, что чудеса творить?
Потóм как человек зимой стал безопасен;
Еще притом желал, чтоб цвел всегда прекрасен
И в северных странах в снегу зеленой сад;
Цейлóн бы посрамил, пренебрегая хлад.
И удовольствовал он мысли прихотливы:
Зимою за стеклом цветы хранятся живы;
Дают приятный дух, увеселяют взор,
И вам, красавицы, хранят себя в убор....
Прекрасной пол, о коль любезен вам наряд!
Дабы прельстить лицом любовных суеверов,
Какое множество вы знаете манеров
И коль искусны вы убор переменять,
Чтоб в каждой день себе приятность нову дать.
Но было бы ваше всё старанье без успеху.
Наряды ваши бы достойны были смеху;
Когда б вы в зеркале не видели себя.
Вы вдвое пригожи, стекло употребя.

Во светлых зданиях убранства таковы.
Но в чем красуетесь, о сельски нимфы, вы?
Природа в вас любовь подобную вложила,
Желанья нежны в вас подобна движет сила;
И также украшать желаете себя.
За тем прохладные поля свои любя,
Вы рвете розы в них, вы рвете в них лилеи,
Кладете их на грудь и вяжете круг шеи.
Таков убор дает вам нежная весна!
Но чем вы краситесь в другие времена,
Когда, лишась цветов, поля у вас бледнеют,
Или снегами вкруг глубокими белеют,
Без оных что бы вам в нарядах помогло,
Когда бы бисеру вам не дало стекло?...

Так в бисере стекло подобяся жемчугу,
Любимо по всему земному ходить кругу,
Им красится народ в полунощных степях,
Им красится Арап на южных берегах....

По долговременном теченьи наших дней,
Тупеет зрение ослабленных очей.
Померкшее того не представляет чувство,
Что кажет в тонкостях натура и искусство.
Велика сердцу скорбь лишиться чтенья книг;
Скучнее вечной тьмы, тяжёлее вериг!
Тогда противен день, веселие досада.
Одно лишь нам стекло в сей бедности отрада.
Оно способствием искусныя руки
Подать нам зрение умеет чрез очки!
Не дар ли мы в стекле божественный имеем?
Что честь достойную воздать ему коснеем?..
Мы пламень солнечный стеклом здесь получаем
И Прометею тем безбедно подражаем.
Ругаясь подлости нескладных оных врак,
Небесным без греха огнем курим табак;
И только лишь о том мы думаем, жалея,
Не свергла ль в пагубу наука Прометея?
Не злясь ли на него невежд свирепых полк,
На знатны вымыслы сложил неправой толк?
Не наблюдал ли звезд тогда сквозь телескопы,
Что ныне воскресил труд счастливой Европы?
Не огнь ли он стеклом умел сводить с небес,
И пагубу себе от Варваров нанес...
Во зрительных трубах стекло являет нам,
Колико дал творец пространство небесам.
Толь много солнцев в них пылающих сияет,
Недвижных сколько звезд нам ясно ночь являет.
Круг Солнца нашего, среди других планет,
Земля с ходящею круг ней Луной течет.
Которую хотя весьма пространну знаем,
Но, к свету применив, как точку представляем.
Коль созданных вещей пространно естество!....
Хоть острым взором нас природа одарила;
Но близок оного конец имеет сила.
Кроме, что вдалеке не кажет нам вещей,
И собранных трубой он требует лучей,
Коль многих тварей он еще не досягает,
Которых малой рост пред нами сокрывает!
Но в нынешних веках нам микроскоп открыл,
Что бог в невидимых животных сотворил!
Коль тонки члены их, составы, сердце, жилы
И нервы, что хранят в себе животны силы!
Не меньше нежели в пучине тяжкий кит
Нас малый червь частей сложением дивит...
Стеклом познали мы толики чудеса,
Чем он наполнил понт, и воздух, и леса.
Прибавив рост вещей оно коль нам потребно,

Являет трав разбор и знание врачебно.
Коль много микрокоп нам тайностей открыл
Невидимых частиц и тонких в теле жил!
Но что еще? уже в стекле нам баромéтры
Хотят предвозвещать, коль скоро будут ветры,
Коль скоро дождь густой на нивах зашумит,
Иль, облаки прогнав, их Солнце осушит.
Надежда наша в том обманами не льстится:
Стекло поможет нам, и дело совершится.
Открылись точно им движения светил:
Чрез то ж откроется в погодах разность сил.
Коль могут счастливы селяне быть оттоле,
Когда не будет зной ни дождь опасен в поле?
Какой способности ждать должно кораблям,
Узнав, когда шуметь или молчать волнам,
И плавать по морю безбедно и спокойно!
Велико дело в сем и гор златых достойно!
    Далече до конца стеклу достойных хвал,
На кои целый год едва бы мне достал.
За тем ужé слова́ похвальны оставляю,
И что об нем писал, то делом начинаю.
Однако при конце не можно преминуть,
Чтоб новых мне его чудес не помянуть.
    Что может смертным быть ужаснее удара,
С которым молния из облак блещет яра?
Услышав в темноте внезапный треск и шум
И видя быстрый блеск, мятется слабый ум;
Он гневного часа́ желает где б укрыться;
Причины оного исследовать страшится.
Дабы истолковать что молния и гром,
Такие мысли все считает он грехом....
Что в заблуждении теряли путь великом,
И истинных причин достигнуть не могли,
Поколе действ в стекле подобных не нашли.
Вертясь, стеклянный шар дает удары с блеском.
С громовым сходственны сверканием и треском....
Внезапно чудный слух по всем странам течет,
Что от громовых стрел опасности уж нет!

М. Свешников

РУССКОЕ СТЕКЛО

Ранней весной 1630 года, в царствование Михаила Фёдоровича, в Москву приехал швед Юлий Койет. Он должен был научить русских мастеров отливать пушки.

Пушечного мастера приняли хорошо. Царь сразу же пожаловал ему серебряный ковш весом в два фунта, «бархату рытого», «тафты доброй», сорок соболей да лошадь с седлом и уздою.

Такой приём Койету понравился, и он решил совсем остаться в России. Оказалось, что он хорошо знает и стекольное ремесло. Койет взялся построить стекольный завод в России.

В те времена в России почти не знали стекла.

Даже в царском дворце окна были слюдяные. Ели из медной или оловянной посуды. Беднота обходилась деревянными плошками.

Предложение Койета оказалось кстати.

Подходящее место нашли в Московском уезде, недалеко от города Воскресенска. Здесь и построили завод — несколько сосновых изб с плавильными печами и трубами. На заводе стали делать аптекарскую посуду: колбы, банки, реторты, бутылки.

Стоила такая посуда очень дорого. За ту цену, какую платили за большую стеклянную банку, можно было купить телёнка.

При Алексее Михайловиче построили второй завод — в селе Измайлове, близ Москвы. Это был уже государственный казённый завод. Выделывал он не аптекарскую посуду, а сулеи (бутылки и графины), оловенники (кувшины), ставцы, кружки, братины, рюмки, стаканы, лампадки и мухоловки.

Гордостью Измайловского завода была отлитая им саженная рюмка. Чудо-рюмка — выше самого высокого человека — была хитро украшена стеклянными нитями. Могла она вместить два ведра вина.

При Петре I и Елизавете построили ещё несколько стекольных заводов. Появились уже русские мастера-стеклодувы. Иностранцы неохотно делились с ними своим опытом, старались не открывать им своих секретов. К счастью, среди русских нашлись изобретатели, которые не только самостоятельно открыли старинные секреты стеклоделия, но и улучшили его.

Первым из этих изобретателей был Ломоносов.

Всем известно, что Ломоносов писал стихи о стекле, но мало кто знал, что он сам варил стекло. Ломоносов был не только великим физиком, химиком, геологом, минерологом, астрономом, философом, историком, а ещё и замечательным стеклоделом.

Однажды у графа Шувалова Ломоносов увидел привезённый из Италии мозаичный портрет. Ломоносова восхитила чудесная, составленная из разноцветных стеклянных кубиков картина. Неужели нельзя делать такие же прекрасные вещи у нас в России?

Ломоносов решил сам взяться за составление мозаики.

Ему пришлось начать всё сызнова, как будто никто до него мозаики не делал. Рецепты окраски стекла хранились тогда в секрете, их и за границей знали немногие мастера, а в России не знал никто. В книгах можно было прочесть только о самых простых и известных вещах. А о том, как варить разноцветное стекло, как делать кубики, как их закреплять — обо всём этом в книгах не было сказано. Почти три года затратил Ломоносов на раскрытие этих тайн. Терпеливо проделывал он опыты, записывая их в лабораторном журнале. За это время ему довелось больше двух тысяч раз варить стекло. Наконец, все секреты были открыты. Можно было приниматься за мозаику.

Первой мозаикой Ломоносова была икона, сделанная им из четырёх тысяч стеклянных кубиков. Затем он сделал мозаичные портреты Елизаветы и Екатерины II.

После этого он взялся за огромную — в сорок два квадратных метра — мозаичную картину «Полтавская баталия». Этой картиной хотели украсить стену Петропавловского собора.

Такая большая мозаика требовала огромного набора стеклянных кубиков всех цветов. Ведь чем больше оттенков в распоряжении художника, тем лучшую картину он может создать.

Достаточно сказать, что, например, в ватиканской мозаичной мастерской римского папы хранятся кубики двадцати восьми тысяч различных оттенков. Один только зелёный цвет имеет четыре тысячи тонов — от салатного до густозелёного почти чёрного.

Нужен очень зоркий глаз, чтобы из всех этих оттенков выбрать самый подходящий. Непривычный к такой работе человек даже не заметит разницы между соседними оттенками: настолько она неуловима. А мастер заметит. И из множества стоящих перед ним тарелочек со стеклянными кубиками он выберет нужный.

Мозаичные картины делают по нескольку лет. Они требуют от художника необычайной тщательности, бесконечного терпения.

Почти пять лет работал Ломоносов над «Полтавской баталией» и закончил её незадолго до своей смерти.

А затем картину постигла очень странная участь. В собор её не повезли. Никто о ней не заботился. Огромная картина пропала без вести.

Прошло более полутораста лет. Произошла Великая Октябрьская революция. И вот однажды, приводя в порядок подвалы Академии наук, рабочие наткнулись на какие-то большие, очень тяжёлые ящики. Их было много. Открыли один из них, — в нём оказался кусок мозаики, изображавший голову петровского солдата. В другом ящике нашли другой кусок мозаики — штандарт Петра Первого. В остальных ящиках также лежали куски мозаики.

Это была разрубленная на куски «Полтавская баталия».

В Советской стране оценили по достоинству изумительный труд Ломоносова. Куски мозаики осторожно извлекли из ящиков, соединили их, выпавшие кусочки стекла заменили новыми.

Сейчас великолепная стеклянная картина, напоминающая нам о славных боевых делах русской армии, возвращена к жизни.

Если так ценили в царской России труд стеклодела, который был одновременно и великим учёным, то понятно, чего могли ждать другие русские мастера по стеклу.

Талантливых людей в России всегда было много. А вот машин, различных приспособлений, облегчающих и ускоряющих труд, было мало. И совсем не было машин в русской стекольной промышленности. В России умели до революции делать только посуду, бутылки и оконное стекло. Много зеркального стекла выписывали из-за границы. Об оптическом стекле нечего и говорить; его совсем не умели варить.

Нам пришлось много потрудиться для того, чтобы наверстать упущенное. Сейчас на всех советских стекольных заводах работают машины. Лучшего оптического стекла, чем у нас, не делают ни в одной стране.

Стеклоделие было ещё недавно ремеслом. Теперь оно стало настоящей наукой. Но это вовсе не значит, что теперь стекольщику уже не нужно мастерство, не нужен талант. Наоборот, талант, искусство в этом деле теперь ещё нужнее, чем прежде.

Всего труднее, конечно, сделать стёкла для большого телескопа. Это как бы высший, самый строгий экзамен для стекольщиков.

Мастеров, умевших полировать такие стёкла, было так мало, что их можно перечислить по именам. Таким был, например, Шорт. Он жил двести лет назад. Это был замечательный мастер, настоящий художник своего дела. Никто не мог сравниться с ним. Перед смертью он разбил все отполированные линзы и зеркала. Изумительным мастером был и Альвино Кларк, живший восемьдесят лет назад. Он делал стёкла для обсерваторий всего мира.

Почти все такие мастера были самоучками, почти все они попадали в кабалу к крупным оптическим фирмам и жили очень бедно. Но они не бросали своего дела, потому что любили его.

Эти мастера не образуют одной династии: секрет легко передать по наследству, а талант завещать нельзя. Их можно сравнить скорее всего с великими шахматистами. Как те, так и эти достигали успеха своим невероятным упорством, напряжением всех сил. Но шахматный чемпион сыграет тысячи партий, а стекольщик отполирует за всю свою жизнь всего несколько больших стёкол, которые долго после смерти будут безупречно работать в телескопах разных стран, служить молчаливым стеклянным памятником огромного труда...

Одному из таких знаменитых мастеров — англичанину Гребу — и были заказаны в 1912 г. стёкла для нашего нового пулковского телескопа.

Прошло десять, пятнадцать лет, а стёкла всё не были готовы. В 1930 г. старый мастер умер нищим, деньги на его похороны собрали по общественной подписке. И встал вопрос: кому же теперь передать заказ?

Тогда обсерватория обратилась к знаменитой германской оптической фирме Цейс. Цейс готов был взяться за дело: у него уже был припасён подходящий кусок стекла. За шлифовку и полировку Цейс потребовал сто тысяч марок золотом. И поставил ещё одно непременное условие: срок не указывается. Он постарается выполнить работу в два с половиной года. Но если не выйдет, то не выйдет. Может быть, придётся ждать пять лет, а может быть — и десять.

Что было делать? Согласиться?

Тогда-то наш Оптический институт и предложил: прежде чем дать ответ Цейсу, посмотреть, не найдётся ли у нас самих в стране таких людей, которые могли бы отполировать стёкла для телескопа.

И такой человек, действительно, нашёлся — один из сотрудников института, по фамилии Максутов, — человек, который тридцать лет своей жизни отдал постройке телескопов.

Ещё мальчиком смастерил он себе самодельный телескоп. Потом начал делать маленькие телескопы для школ, а затем — зеркала и линзы для самых точных оптических приборов.

Специальная комиссия устроила самое строгое испытание максутовским стёклам: их сравнили с подобными же стёклами, какие делают у Цейса. И каково же было удивление, когда они оказались ничуть не хуже, а даже лучше цейсовских стёкол.

После этого не было, конечно, смысла давать заказ Цейсу. Мы сами, своими силами стали строить новый телескоп.

И сделан он безукоризненно.

Так, почти случайно, выяснилось, что мы были слишком скромны, напрасно не доверяли своим силам. У нас есть теперь люди, которые могут браться за любую задачу в стеклоделии, делать не только отличные микроскопы, но и лучшие, самые большие телескопы.

Страна, которая может строить телескопы, может строить и любые, самые сложные оптические приборы, в том числе и те, что нужны для войны. И, действительно, наша армия теперь обеспечена полностью «оптическим вооружением»: и биноклями, и стереотрубами, и фотоаппаратами, и оптическими прицелами...

Так наши стеклоделы догнали заграничных, справились с самыми сложными задачами...

(*«Тайны стекла»,* 1940 г.)

Б. А. Копылов, А. Я. Авербух

ВЫРАБОТКА ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТЕКЛА

Стекло является почти единственным материалом, поддающимся любой форме обработки. Стекло можно сваривать, сверлить, фрезеровать, резать, шлифовать, полировать и даже прясть в виде нитей. Особенно широки возможности формования изделий из стекломассы. Все способы формирования: выдувание, лепка, раскатывание, прессование, отливка, прокатка, вытягивание, могут быть применены для изготовления всевозможных стеклянных изделий. Это объясняется тем, что вязкость стекла постепенно изменяется с изменением температуры. Поэтому требуемая вязкость обрабатываемого материала по тому или иному методу достигается нагреванием стекломассы до различных температур, при которых производится выработка.

Наиболее старым методом формования стеклянных изделий является метод выдувания изделий.

Все стеклянные изделия, изготовленные в мире в течение почти двух тысяч лет, явились результатом тяжёлого, вредного для здоровья, выдувания стекла с помощью лёгких рабочего.

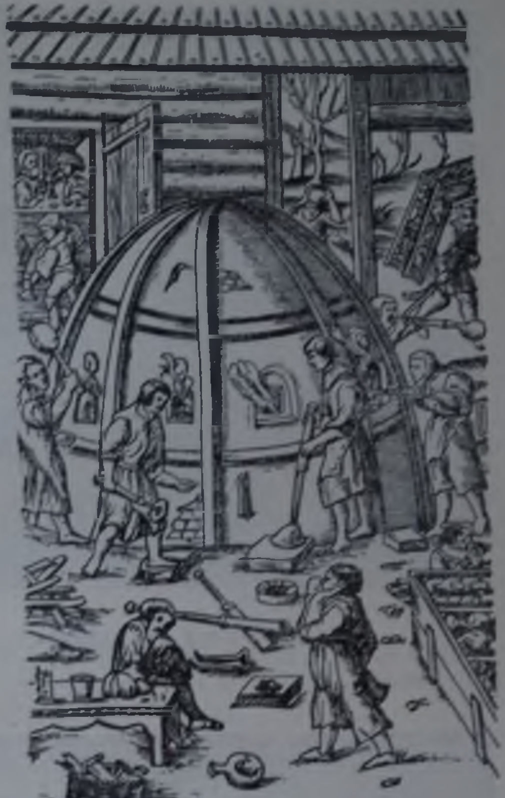


Рис. 134. Печь для выплавки стекла (из книги Агрикола «Металлургия», XVI в.).

В книге С. Фомина «Перед рассветом» описана жизнь и работа стеклодувов на стекольном заводе до революции: 15-часовая работа в грязном, тесном и душном помещении при полном отсутствии машин.

До сих пор на заводах капиталистических стран можно встретить ту же картину, описанную С. Фоминым.

В Советском Союзе разработано и внедрено в производство несколько типов механизированных выдувных машин. Они применяются в тех случаях, когда выдувание не может быть заменено другими методами формования. В других же случаях применяются автоматическое прессование стеклоизделий, специальные прессодувные автоматы, прокатка стекла, вытягивание и т. д.

Опишем в качестве примера более подробно современное производство листового стекла.

Имеются различные методы производства листового стекла механизированным путём. Наиболее производительным и совершенным оказался метод вертикального вытягивания стекла.

Вытягивание стекла в виде ленты из бассейна, наполненного

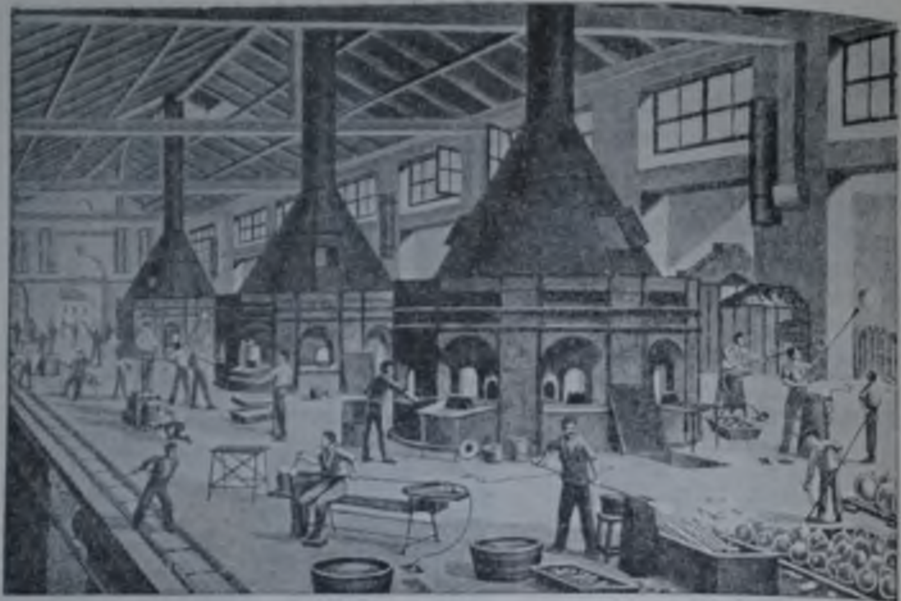


Рис. 135. Общий вид стекольного завода конца XIX в.

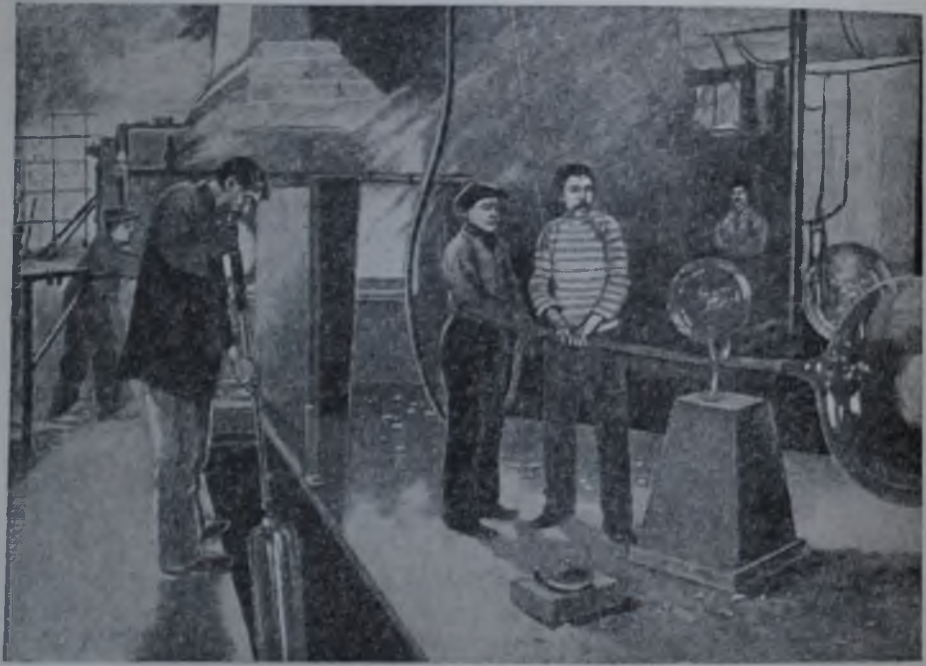


Рис. 136. Двойной способ выдувания стекла (*с помощью лёгких — устаревший, с помощью стеклодувных машин*).

расплавленной стекломассой, может быть осуществлено или с помощью специальной «лодочки» (лодочное вытягивание), или прямо со свободной поверхности стекломассы. Последний метод

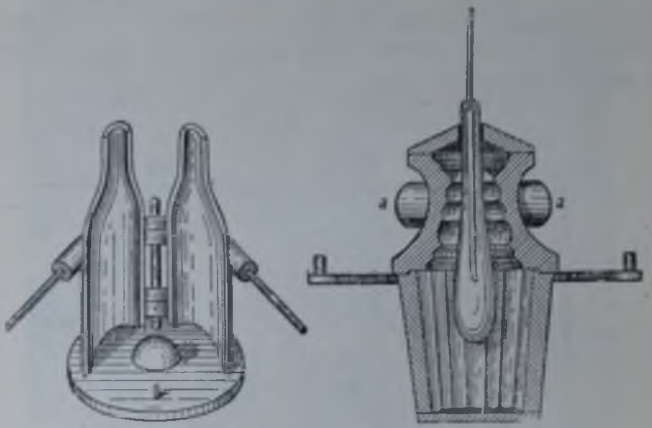


Рис. 137. Формы для выдувания бутылки и графина.

был разработан советскими учёными в 1948 г. Из стекла можно вытягивать не только листовое стекло, но и нити, диаметр которых доходит до 2 μ (0,002 *мм*), т. е. почти в 40 раз тоньше волоса.

На рисунке 138 представлена схема лодочного вытягивания стекла. В средней части лодочки, изготовленной из шамота, имеется щель, расположенная на несколько сантиметров ниже боковых стенок лодочки.

При принудительном погружении лодочки в стекломассу до уровня верхней кромки боковых стенок стекломасса поднимается на некоторую высоту над щелью. Если при этом искусственно охладить стекло у щели, то оно не только не будет растекаться, но через некоторое время затвердеет. Формование листа стекла происходит при непрерывном равномерном вытягивании ленты стекла по щели лодочки при помощи валиков машины (рис. 139). При этом поверхность стекла успевает затвердеть до того, как оно

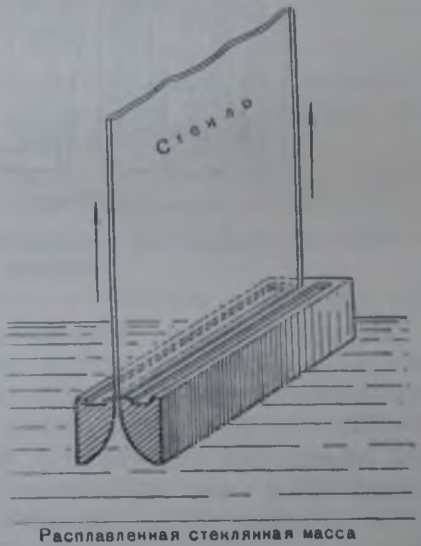


Рис. 138. Схема вытягивания стекла.

дойдёт до транспортирующих валиков машины. Поэтому при нормальной работе на ленте стекла не образуется никаких деформаций и не остаётся отпечатков от валиков машины.

По высоте машины имеются три площади, с которых производится её обслуживание. На верхней площадке производится резка ленты на листы определённого размера.

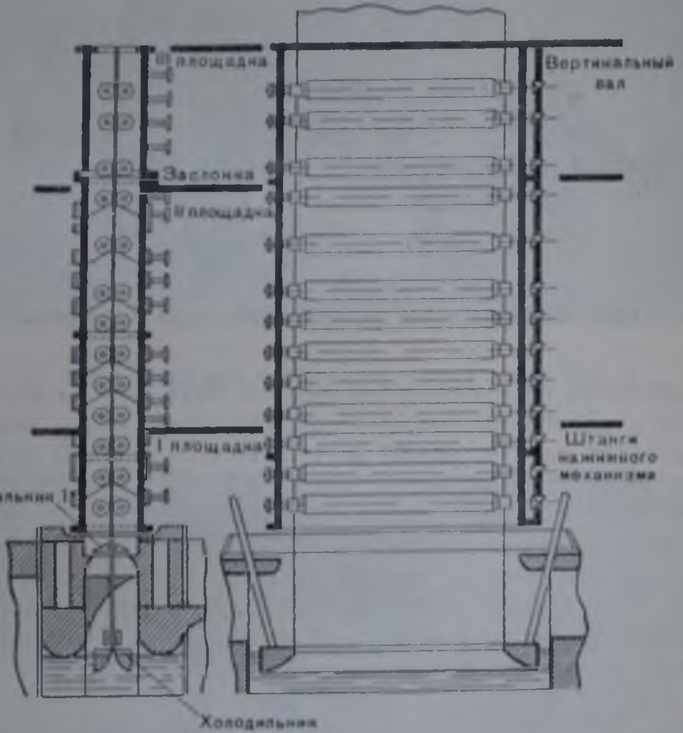


Рис. 139. Машина для производства оконного стекла на современном стекольном заводе.

По пути от щели лодочки до места отломки листа лента стекла проходит все стадии обработки: формование, отжиг и охлаждение стекла со снижением температуры от 900—950 до 60—70°. Это понижение температуры происходит в очень короткий промежуток времени. Так, при скорости вытягивания стекла, равной 120 *м* в час, лента проходит этот путь всего за 3,5 минуты. В соответствии с этим требуется точное регулирование температуры по высоте машины, с применением искусственного охлаждения в одних местах или электроподогрева стекломассы в других местах. Существенным недостатком такого метода является некоторая волнистость стекла, искажающая очертания предметов, рассматриваемых через него. Этот порок стекла в значительной

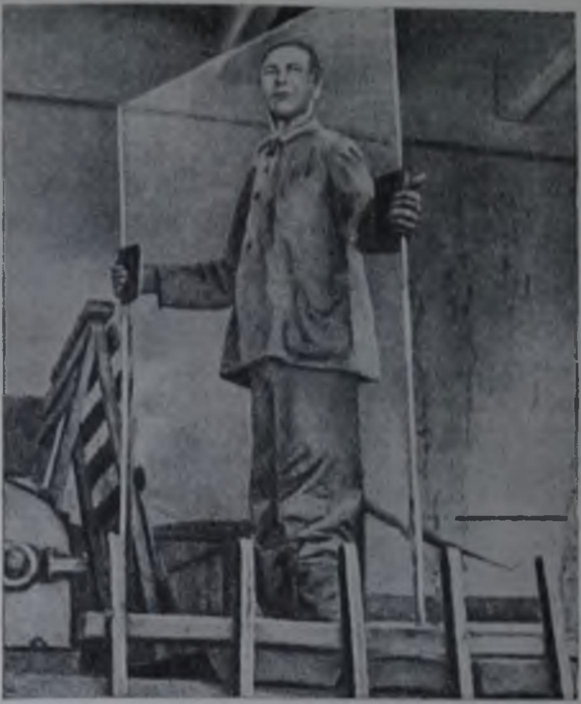


Рис. 140. Верхняя площадка машины для получения оконного стекла.

степени устраняется при переходе на новый способ вертикального вытягивания стекла со свободной поверхности (без лодочки), по которому уже работает ряд заводов в нашей стране.

Советская стеклотехника непрерывно совершенствуется и развивается. За короткий период производительность машин вертикального вытягивания была увеличена в два-три раза, а отдельными стахановцами в четыре-пять раз.

Много усовершенствований внёс в стекольное производство лауреат Сталинской премии С. И. Королёв.

Изменив конструкцию подмашинной камеры в машинах для вытягивания стекла, С. И. Королёв добился увеличения выпуска листового стекла примерно в три раза. Для устранения термической неоднородности стекломассы им предложена лодочка с терморегулятором, позволяющим поддерживать одну и ту же температуру в средних и наружных слоях стеклоленты. С. И. Королёвым разработан специальный механизированный способ изготовления тонких стёкол толщиной 0,7—0,8 *мм*, вырабатывавшихся ранее исключительно ручным путём, и внесены соответствующие изменения в обычные машины для вытягивания стекла. Им предложен новый способ безлодочного производства стекла, при помощи которого можно производить листовое стекло, стеклянные трубки разного диаметра, строительные детали, армированное и цветное стекло. С. И. Королёвым изобретены лодочки для механизированного вытягивания трубок разных диаметров.

Промышленность Советского Союза в настоящее время выпускает облицовочные плитки из стекла, стеклянные блоки и плиты из пеностекла, стеклянную шерсть, войлок, стеклянные скульптуры, стеклянные трубы, с успехом заменяющие стальные трубы в различных отраслях промышленности и выдерживающие высокое давление, всевозможные архитектурные детали, обладающие высокими механическими и художественно-декоративными качествами, применяемыми в настоящее время на высотных стройках Москвы.

За последние годы войны в нашей стране возникли новые заводы, оборудованные по последнему слову техники. Организовано поточное производство полированного стекла. Механизируются и автоматизируются все трудоёмкие процессы. Вводятся новые мощные машины; так, конвейеры, выпускающие полированное стекло, достигают в длину до 500 *м*. Стекло теперь стали изготовлять также путём литья и проката на литейных столах или роликовом конвейере.

Советскими учёными и инженерами ведутся большие исследовательские работы: значительно увеличена мощность печей, ускорены процессы полировки и шлифовки стекла и т. д. Проведённые мероприятия повысили мощность соответствующих цехов на 50% без ввода в действие дополнительного оборудования.

С целью удовлетворения растущих потребностей народного хозяйства директивами XIX съезда партии по пятому пятилетнему плану предусмотрен рост производства основных строительных материалов в стране не менее чем в два раза, а увеличение выпуска полированного стекла — в четыре раза.

Благодаря трудам учёных, инженеров и стахановцев стекольная промышленность Советского Союза обеспечит выполнение задач, поставленных партией и правительством.

(*«Химия в школе»*, 1953 г.)

ГЛАВА IX

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ

> *«Менделеев доказал, что в рядах средних элементов, расположенных по атомным весам, имеются различные пробелы, указывающие на то, что здесь должны быть ещё открыты новые элементы. Он наперёд описал общие химические свойства одного из этих неизвестных элементов, — названного им экваалюминием, потому что в начинающемся с алюминия ряду он непосредственно следует за алюминием, — и предсказал приблизительно его удельный и атомный вес и его атомный объём. Несколько лет спустя Лекок де Буабодран действительно открыл этот элемент, и оказалось, что предсказания Менделеева оправдались с совершенно незначительными отклонениями. Экаалюминий получил свою реализацию в галлии... Менделеев, применив бессознательно гегелевский закон о переходе количества в качество, совершил научный подвиг, который смело можно поставить рядом с открытием Леверье, вычислившего орбиту ещё неизвестной планеты — Нептуна».*
>
> (Ф. Энгельс, Диалектика природы, 1948, стр. 44—45.)

Ю. В. Ходаков

ЖИЗНЬ И ТВОРЧЕСТВО МЕНДЕЛЕЕВА

Зимою 1834 г. в семье директора Тобольской гимназии родился 14-й по счёту ребёнок — в будущем краса и гордость русской нации, Дмитрий Иванович Менделеев. Отец Дмитрия Ивановича умер в 1847 г., оставив семье скудную пенсию. Но энергичная сибирячка-мать не упала духом. Получив от брата заброшенный стекольный завод, она восстановила его и, кое-как сводя концы с концами, обеспечила младшему и самому любимому сыну безбедное детство. Кучи песка и известняка, палящий жар стеклоплавильных печей остались у Д. И. Менделеева самыми отдалёнными воспоминаниями детства.

Д. И. Менделеев *(1834—1907)*.

«... Выросши около стекольного завода, который вела моя мать, тем содержащая детей, оставшихся на её руках, сызмала пригляделся к заводскому делу... Поэтому, отдавшись такой отвлечённой и реальной науке, как химия, я смолоду интересовался фабрично-заводскими предприятиями...»

Мальчик не подозревал, что «чудо» превращения песка, известняка и соды в сверкающее прозрачное стекло называется химией. Он не узнал этого и в гимназии, куда поступил семи лет. Химии там не обучали. Её место в учебном плане занимали древние языки. Митя не мог понять, зачем нужно изучать язык, на котором не говорит ни один из ныне живущих народов. Ни вдохновенный эпос Гомера, ни суровая история Тацита не воспламеняли его воображения. Ему грезилось не прошлое, а будущее, не овеянные славой легионы Юлия Цезаря, а межпланетные снаряды, устремляющиеся на завоевание пространства. Его любимым писателем сделался со временем Жюль-Верн, а любимым героем — Ньютон, подчинивший одной единственной формуле и полёт снарядов на полях сражений, и движение планет, и падение с яблони подточенного червем яблока.

Впоследствии, когда маленький ученик сделается большим учёным и учителем, голос которого будет звучать на весь мир, он назовёт «латынщиной» всякое ложное мудрствование, не приносящее пользы людям. Пока же, пока же — ничего не остаётся, как с упорством отчаяния зубрить: «homo, homini . . .»

Но вот уже пролетело безмятежное детство. Наступила новая полоса жизни. Перед 16-летним юношей открылись и плотно захлопнулись за ним двери Петербургского педагогического института. Вне стен института и внутри него жизнь протекала поразному. Там... она кипела, протестовала против сковывающего её режима; уже по временам волновались «мастеровые»; лучшие интеллигенты русской земли поднимали негодующие голоса против бесправия и угнетения народа; давно протоптаны были торные дороги в Сибирь. Здесь... каждое утро в определённый час звонок поднимал воспитанников; под предводительством надзирателей в мундирах с золотыми пуговицами они собирались в рекреационном зале, расставлялись в стройные шеренги, и день начинался молитвой о даровании «благочестивейшему, самодержавнейшему императору всея Руси» победы над злокозненными внешними и внутренними врагами. А потом по строгому расписанию: от сих до сих — лекции, от сих до сих — обед под наблюдением бдительных надзирателей; от сих до сих — отдых, от сих до сих — учение уроков. И всегда и везде: надзиратели, надзиратели, надзиратели...

По внешности система воспитания верных слуг «царю и отечеству действовала весьма исправно: но остановить жизнь административными мерами нельзя: неизвестными путями запрещённые книжки проникали в казарменные дортуары, прятались под торию, он спешит в свою скромную лабораторию, чтобы продолжить начатые опыты.

Спустя ещё два года, в 1859 г., Менделеев отправляется в двухгодичную научную командировку за границу. Он попадает здесь в новый мир. Здешние студенты, по первому впечатлению, совсем не похожи на его бывших товарищей по Педагогическому институту: они не спорят о судьбах своей родины, не читают тайком запрещённых книг, науке и книгам они предпочитают пышные процессии по городу, пьяные скандалы в пивных и дуэли. Это называется «традиции» германских университетов; их ревностно поддерживает «золотая молодёжь» — беззаботные дети состоятельных родителей. Но в лабораториях Гейдельбергского университета Менделеев находит привычную атмосферу научных исканий, близких ему по духу тружеников науки. Своей темой он избирает взаимоотношение жидкого и парообразного состояния веществ. Выбор её не случаен: сжижение газов есть проявление взаимного притяжения их частиц; более сложным проявлением тех же сил является образование химических соединений. Итак, чтобы постигнуть образование химических соединений, нужно изучить более простые случаи сцепления частиц — сжижение газов. Работа Менделеева завершается замечательным открытием. Если любую жидкость всё сильнее нагревать в запаянном сосуде, из которого выкачан воздух, то наступает момент, когда разделительная грань между жидкостью и её паром, мениск, внезапно исчезает. Температуру, при которой это происходит, Менделеев назвал температурой абсолютного кипения, так как при этой температуре (и, конечно, выше её) никаким давлением нельзя предотвратить превращения жидкости в пар. Чем ниже «температура абсолютного кипения» (сейчас мы называем её «критической температурой»), тем труднее происходит обратное превращение — сгущение газа в жидкость. Впоследствии, когда Наттерер будет безуспешно пытаться обратить в жидкое состояние воздух при температурах, значительно превышающих критические температуры кислорода и азота, Менделеев укажет ему на причину его неудач, но пока, удовлетворившись достигнутыми результатами, он оставляет эту область исследований и не участвует в практическом триумфе своих же собственных открытий. Этот триумф заключается в переводе в жидкое состояние газов, которые до сих пор слыли «постоянными газами».

Вместе с Менделеевым мы оставляем эту область его исследований и вместе с ним переносимся на всемирный конгресс химиков в Карлсруэ; он попал туда не в качестве почётного гостя или докладчика по принципиальному вопросу, а просто в качестве безмолвного свидетеля событий, которыми предопределялась судьба химии как науки.

Вместе с тем на конгрессе в Карлсруэ предопределилась и роль, которую сыграл в развитии химии Д. И. Менделеев, — он сам отметил это впоследствии. В чём же заключалось значение подушками, обсуждались таинственным шёпотом»[1]. Молодые люди и здесь искали истины, искали действительно научных знаний. И Дмитрий Менделеев нашёл здесь то, что бессознательно искал. Он нашёл — химию.

«Если какое-либо тело с массой...» — так начиналось в учебнике физики доказательство ньютоновских теорем.

Несмотря на преклонение перед Ньютоном, Дмитрию Менделееву хотелось мысленно увидеть и осязать это «некоторое тело», увидеть его окраску, почувствовать его запах, узнать, из какого материала оно сделано, откуда взялся этот материал...

Именно здесь-то, оказывается, и начиналась доселе неведомая, чарующая наука — химия.

Поразительно было «открытие», что все, казалось бы, бесконечно разнообразные «тела» состоят из крайне ограниченного числа элементов, комбинирующихся по два, по три... в строго определённых весовых отношениях, следуя законам «постоянства состава» и «кратных отношений».

Для многих юношей увлечение химией начинается со взрывов гремучего газа, с бенгальских огней, приготовления пороха... Может быть, так началось оно и у студента Менделеева. Но известно, что первые работы его, увидевшие свет, были посвящены анализу минералов. Что может быть скучнее: растворить, осаждать, фильтровать, прокаливать и взвешивать? Но молодой студент не находил это скучным занятием; он пользовался каждым свободным часом, чтобы что-нибудь профильтровать или взвесить[2]. В то же время он проводил бессонные ночи над изучением языков — не «латынщины», а тех языков, на которых говорят и пишут статьи по химии живущие народы.

Педагогический институт был окончен Менделеевым в 1855 г. с золотой медалью.

Два года педагогической практики на юге России[3] восстановили подорванное здоровье начинающего учёного — и вот опять петербургские туманы, холодные ветры с Невы, научные журналы и живое общение со старшими товарищами по науке... Менделеев в январе 1857 г., т. е. 23 лет от роду, в результате защиты магистерской диссертации на тему «Об удельных объёмах» становится преподавателем химии Петербургского университета. Его слушатели — немногим моложе его самого, но никому из них не придёт в голову усомниться в авторитете молодого учёного. Он всей душой отдаётся своим обязанностям; ничто не кажется ему более интересным и важным делом, чем преподавание химии, ничто, кроме научной работы. И, оставляя ауди для развития химии съезда химиков в Карлсруэ? Каков был исторический фон эпохи, в которой жил и творил Менделеев?

---

[1] Из этого же института вышел, между прочим, Добролюбов.

[2] Две первые напечатанные ещё в студенческие годы работы Менделеева были посвящены вопросу «Об анализе ортита и пироксена из Финляндии».

[3] Сначала в Симферополе старшим учителем гимназии, потом учителем в 1-й Одесской гимназии.

Д. И. Менделеев в годы открытия периодического закона.

Конгресс в Карлсруэ. Химия, её руководящая — атомистическая теория, в это время находилась в полосе жёсткого кризиса. Дальтон, выдвинув в связи с обоснованной им атомной теорией понятие «атомного веса», не смог дать строго научного решения задачи определения атомных весов. Гипотеза Авогадро, представляющая дальнейший шаг атомистики и, как показало дальнейшее необходимое звено в её развитии, — пребывала в забвении. В результате таблицы атомных весов, составленные разными авторами, в отношении многих элементов не сходились друг с другом, так как разные авторы принимали разные формулы для одного и того же вещества.

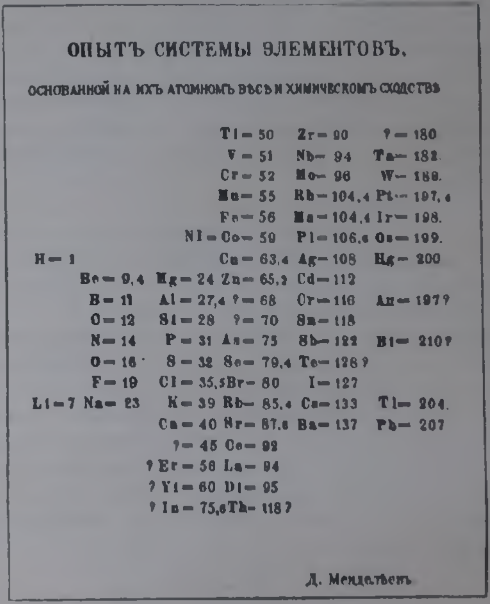
Для разрешения этих разногласий по существу и собрались химики всего мира на конгрессе в Карлсруэ. Борьба была ожесточённой, но сторонники атомно-молекулярного учения, возглавляемые молодым итальянским химиком Канниццаро, одержали в ней блестящую победу. Бесспорный метод определения атомных весов был найден и утверждён[1].

Менделеев писал в Россию восторженные письма о конгрессе, а вспоминая о нём впоследствии, следующим образом характеризовал его значение для химии:

«В 50-х годах одни принимали атомный вес кислорода 8, другие 16, если атомный вес водорода 1. Вода для первых была HO, перекись водорода HO_2, для вторых, как ныне, вода H_2O, перекись водорода H_2O_2 или HO. Смута, сбивчивость господствовали. Присутствовав на конгрессе в Карлсруэ, где химики всего света собирались для того, чтобы достичь соглашения, единообразия, я хорошо помню, как велико было разногласие, как с величайшим достоинством охранялось корифеями науки условное соглашение и как тогда последователи Жерара, во главе которых встал итальянский профессор, горячо проводили следствия закона Авогадро. При господстве научной свободы (без неё наука не двигалась бы вперёд, окаменела бы, как в средние века) и при одновременной необходимости научного консерватизма (без него корни прошлого изучения не могли бы давать новых плодов) условное соглашение не было достигнуто и не должно быть достигаемо, а вместо того истина в виде закона Авогадро-Жерара при посредстве конгресса получила более широкое распространение и скоро затем покорила все умы. Тогда сами собой укрепились новые, так называемые жераровские веса атомов, и уже с 80-х годов они вошли во всеобщее употребление».

---

[1] В чём он заключался — можно прочесть в «Курсе химии» Некрасова



ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ,

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ

			Ti = 50	Zr = 90	? = 180
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182.
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186.
			Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4
			Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198.
			Ni = Co = 59	Pl = 106,6	Os = 199.
H = 1			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 116	Au = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204.
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207
		? = 45	Ce = 92		
		? Er = 56	La = 94		
		? Yt = 60	Di = 95		
		? In = 75,6	Th = 118?		

Д. Менделѣевъ

Рис. 141. Первый опыт системы элементов (1869).

Периодический закон. Уже во времена Дальтона было известно, что между химическими элементами существуют не только различия (использованные аналитической химией, основу которой положил Бойль), но и сходства, вследствие которых оказалось возможным сгруппировать элементы в «естественные семейства».

Так, исстари была известна сера; в конце XVIII в. был открыт теллур — элемент, имеющий много общего с серой. В начале же XIX в. великий шведский химик Берцелиус, который сыграл очень большую роль в утверждении атомистической теории, был приглашён для консультации на один из сернокислотных заводов в Швеции, и, в частности, его внимание было обращено на красный ил, осаждающийся в газоочистительных камерах. Исследуя этот ил, Берцелиус по первому впечатлению принял его за особую разновидность серы. Действительно, ил горел таким же синим пламенем, так же энергично соединялся с металлами; при действии воды или кислот на эти соединения выделялся газ, даже по запаху не отличимый от сероводорола. Но Берцелиус был достаточно опытным химиком, чтобы не долго оставаться в заблуждении. Всё-таки красный ил оказался не серой. Тогда Берцелиус принял его за теллур[1], но в конце концов он убедился, что имеет дело с новым элементом, который удивительным образом по своим свойствам является чем-то средним между серой и теллуром и который он назвал селеном. В самом названии нового элемента (селен, значит, в переводе «лунный») Берцелиус отметил большое сходство селена с теллуром: подобно тому как Луна является ближайшим небесным телом по отношению к Земле, — селен ближайший по свойствам химический элемент по отношению к теллуру.

Тотчас после того, как Дальтон опубликовал свою таблицу атомных весов, начались поиски связи между химическим количеством, т. е. количественной характеристикой химического элемента — его атомным весом и химическим качеством, т. е. всей совокупностью химических свойств элемента.

Эти попытки сразу увенчались блестящим успехом.

Дёберейнер, немецкий химик, устанавливает свой знаменитый «закон триад», согласно которому в каждой тройке («триаде») сходных между собой элементов элемент, занимающий промежуточное положение по своим химическим свойствам, обладает и средним атомным весом. Так, в триаде Берцелиуса селен имеет атомный вес, равный 79, что как раз почти составляет среднее арифметическое между атомными весами крайних членов триады — серы и теллура:

$$\frac{S + Te}{2} = \frac{32 + 128}{2} = 80.$$

Блестящий успех! Естественно было бы ожидать дальнейших попыток установления той всеобщей зависимости между атомными весами и химическими свойствами элементов, частным выражением которой является закон триад. И действительно, тотчас после окончательного утверждения атомистики на конгрессе в Карлсруэ эти поиски возобновились и завершились величайшим открытием, величайшим после атомистики обобщением химии, периодическим законом.

Менделеев вновь в России. Блестящая защита докторской диссертации «О соединении спирта с водой» в 1865 г. доставляет Менделееву профессорское звание. Эта диссертация — результат необычайно кропотливой работы, главным образом состоявшей в приготовлении смесей спирта и воды в различных точно отмеренных весовых пропорциях и в тщательном измерении удельных весов этих растворов. По удельным весам определяется крепость спиртовых растворов, а спирт был одной из важных статей экспорта царского правительства, главным образом в Германию. Поэтому эта работа имела большое практическое значение, так как таблицы Менделеева отличались исключительной точностью. Но характерная особенность — стиль менделеевских работ — заключалась в тесном сплетении практических задач с теоретическими. В данном случае спиртовые растворы заинтересовали Менделеева с теоретической точки зрения, потому что через их посредство он надеялся выяснить таинственную природу растворов вообще. Начиная с этой своей работы, Менделеев становится одним из главных защитников так называемой химической теории растворов, связывающей растворение с образованием химических соединений между растворяемым веществом и растворителем.

---

[1] Название элемента «теллур» произведено от латинского слова Telluris — Земля.

В университете лекции молодого профессора пользовались совершенно исключительным успехом. Аудитория всегда была набита битком; рядом со студентами-химиками сидели и правоведы и математики. Тему каждой лекции Менделеев развивал чрезвычайно широко. Он увязывал в единый крепкий узел теорию с практикой, достигнутое с ожидаемым, привлекал множество сведений из смежных с химией отраслей знания, и очарованный слушатель уносил с собой представление о грандиозной борьбе человека с природой, о высокой роли науки в усовершенствовании жизни человеческого общества.

Жизнь Менделеева — неустанный труд. Лекции и работа в лаборатории заполняют его день. Когда же наступает ночь, свет не погасает в рабочем кабинете молодого учёного. В ночной тиши зреют творческие мысли, оформляются новые замыслы и попутно создаётся самый замечательный из учебников — «Основы химии».

В ночной тиши настойчиво разведываются пути к самому важному открытию, увенчавшему мировой славой русского химика, — к периодическому закону: это открытие было сделано в 1869 г., т. е. на 35-м году жизни Менделеева.

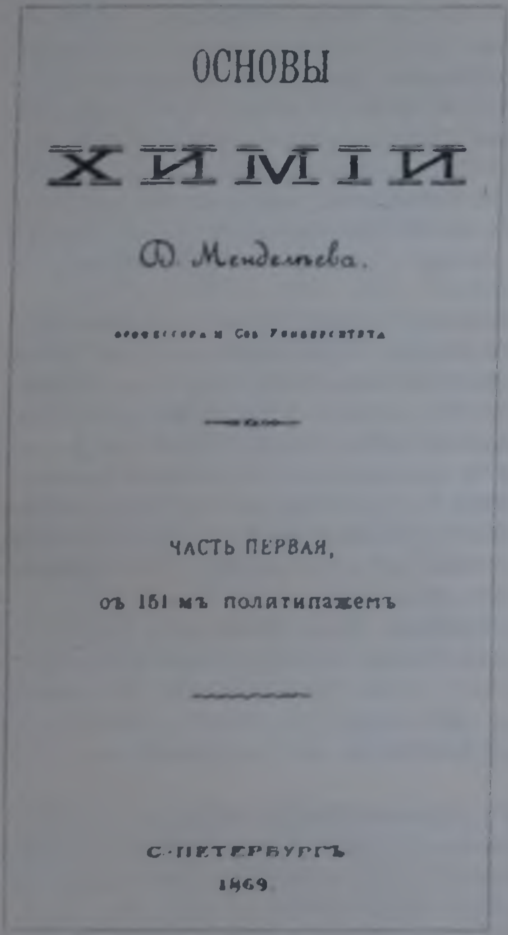
Ход мыслей Менделеева был примерно таков.

У элементов есть точно измеримое, никакому сомнению после конгресса в Карлсруэ не подлежащее то свойство, которое выражено в весе их атома. С другой стороны, у элементов есть также химическая индивидуальность. Она выражена в разных формах их химических соединений, в основности или кислотности окислов, в кристаллических формах и в других признаках, частью точно измеримых, частью же таких, которые ещё не поддаются выражению мерой и числом. Но разве по смыслу всех точных знаний о природе (здесь перед умственным взором Менделеева воскресал столь обожаемый им ещё в детстве образ Ньютона) не вес (масса) тела есть то именно свойство, от которого должны находиться в зависимости все прочие свойства?

Не в атомных ли весах следует поэтому искать причину сходств и различий элементов, их деления на естественные семейства?

Как уже упоминалось, этот путь к познанию вещества был уже отчасти испробован; но никто из предшественников Менделеева не пошёл дальше предчувствий того великого закона, открытие которого выпало на долю Менделееву. Сам Менделеев излагает это открытие (в знаменитых «Основах химии») следующим образом:

«... невольно зарождается мысль о том, что между массой и химическими особенностями элементов необходимо должна быть связь. Искать же что-либо — хотя бы грибы или какую-либо зависимость нельзя иначе, как смотря и пробуя. Вот я и стал подбирать, написав на отдельных карточках элементы, с их атомными весами и характерными свойствами, сходные элементы и близкие атомные веса, что быстро и привело к тому заключению, что свойства элементов стоят в периодической зависимости от их атомного веса».



ОСНОВЫ

ХИМІИ

Д. Менделѣева.

профессора И. Спб. Университета

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ,

съ 161 мъ политипажемъ

С.-ПЕТЕРБУРГЪ

1869

Рис. 142. «Основы химии» Д. И. Менделеева (*титульный лист первого издания*).

Если забыть обо всём, что предшествовало раскладыванию карточек, начиная с бессонных ночей в Педагогическом институте за работой об изоморфизме, то что могут извлечь для себя отсюда наши будущие советские Менделеевы? Незачем корпеть над книгами, проводить время в лабораториях, если ты гений; идея придёт в своё время сама собой. Тогда посидел, повычислял, почертил — и великое открытие готово. На самом деле, раскладывание карточек — лишь завершительный этап длительной и напряжённой работы.

Когда шахматист напряжением ума, искусными манёврами довёл партию до безнадёжного положения для противника, — сделать мат уже легко, — матовый ход может увидеть даже малоопытный игрок.

Однако не следует думать, что во времена Менделеева легко было сделать это открытие, даже подготовив его в результате упорных и длительных поисков. Дело в том, что из 98 ныне известных элементов в то время известно было не более 60; атомные веса многих из них из-за того, что идеи, утвердившиеся на конгрессе в Карлсруэ, ещё не успели дать своих плодов, были определены неправильно.

Бериллию, который считался трёхвалентным элементом, по известной формуле = атомный вес = эквивалент × валентность, приписывался атомный вес 4,5 × 3 = 13,5; скандий, ныне располагающийся между кальцием и титаном, вообше не был известен. И вот только из-за того, что атомный вес одного единственного элемента был установлен неправильно, всё нарушалось. Действительно, если поместить бериллий, согласно его принятому атомному весу, между C и B, соответственно сдвинув карточки бора и углерода, бор окажется над магнием, с которым он не имеет ничего общего, а углерод над алюминием; в ряду лития непосредственно после него — самого ярко выраженного металла — ляжет карточка металлоида — бора; за ним последует ещё более резко выраженный металлоид — углерод, а непосредственно за ним в продолжающийся и далее ряд металлоидов ни с того ни с сего вклинится металл бериллий. Точно так же из-за неизвестности элемента, промежуточного между Ca и Ti, карточка титана попадёт под карточку алюминия, с которым титан не имеет ничего общего по форме образуемых им соединений. Но Менделеев откапывает работу русского химика Авдеева (победу взглядов которого впоследствии он признает не меньшей победой периодического закона, чем открытие предсказанных элементов). Авдеев утверждает, что соединения бериллия сходны с соединениями магния, поэтому бериллий, подобно магнию, должен быть признан за двухвалентный элемент, а его атомный вес — равным 4,5 × 2 = 9. Менделеев соответственно этому исправляет карточку бериллия, и всё приходит на этом участке системы в порядок. Для того же, чтобы упорядочить ряд, начинающийся калием, Менделеев оставляет между кальцием и титаном пустое место для ещё не открытого элемента.

Первое опубликование периодической таблицы Менделеева не обратило на себя никакого внимания; то же самое было ведь и с его предшественниками. Но, продолжая в течение двух лет размышлять над элементами, не находящими себе, подобно бериллию, места в периодической таблице, и над пустующими клетками её, Менделеев всё более убеждается в необходимости исправить атомные веса первых и всё более явственно представляет химический облик элементов, для размещения которых ему пришлось оставить пустые клетки в таблице. В результате этих размышлений появляется новая его статья (1871), представляющая собой высший взлёт, кульминационную точку его гения. Наиболее важную часть этой работы составляют две главы: одна — посвящённая предсказанию свойств ещё не открытых элементов, и другая — содержащая перечень элементов, атомные веса которых определены ошибочно, здесь же приводятся их предполагаемые истинные атомные веса.

Новая статья Менделеева обращает на себя столь же мало внимания, как и предыдущие его публикации, но спустя короткое время происходит замечательное событие.

Молодой французский учёный-спектроскопист Лекок де Буабодран вручает секретарю Парижской академии наук закрытый конверт с просьбой сохранить его до ближайшей сессии академии, когда же она открывается, Буабодран выступает с докладом. Он полностью подтверждает содержавшиеся в закрытом конверте утверждения. Путём спектроскопического исследования цинковой обманки с Пиренейских гор удостоверено наличие в ней нового металла, который в небольшом количестве удалось выделить уже в свободном виде. Этот элемент образует, между прочим, квасцы; удельный вес нового металла такой-то и т. д.

Менделеев читает отчёт о докладе Буабодрана в «Известиях Парижской академии наук» и тотчас убеждается, что новый элемент, названный Буабодраном галлием, есть не что иное, как предсказанный им самим экаалюминий. Сходится всё, кроме удельного веса. Но Буабодран, извещённый Менделеевым, повторяет определение удельного веса галлия, и, оказывается, Менделеев прав! Первое определение было ошибочным из-за примеси натрия, посредством которого производилось восстановление галлия.

Это было лишь началом триумфа периодического закона. Два остальных предсказанные Менделеевым элемента (германий и скандий) заставили себя ждать дольше, но в конце концов также были открыты, и совпадение их свойств с предсказаниями Менделеева оказалось ещё более поразительным. Одновременно подтверждались одно за другим исправления атомных весов уже известных элементов, предсказанные Менделеевым.

Теория проверяется практикой. Теория утверждается через предсказания, так как знать — это значит предвидеть.

Периодический закон блестяще выдержал это испытание, и только самые закоренелые идеалисты, вроде Оствальда (которого В. И. Ленин охарактеризовал как недурного химика, но плохого философа), ещё пытались некоторое время оспаривать его справедливость.

Последствия утверждения периодического закона для химии были буквально неисчерпаемы: «Менделеев, — писал Энгельс, — применив бессознательно гегелевский закон о переходе количества в качество, совершил научный подвиг, который смело можно поставить рядом с открытием Леверрье, вычислившего орбиту ещё неизвестной планеты — Нептуна». («Диалектика природы», 1948, стр. 45.)

Менделеев и практика. В период 1869—1871 гг. выходит в свет знаменитый учебник Менделеева «Основы химии» — первое изложение этой науки на основе периодического закона. «Эти основы, — писал впоследствии Менделеев, — любимое дитя моё. В них мой образ, мой опыт педагога и мои задушевные научные мысли». Эта книга рано или поздно устареет как учебник, но навсегда останется школой научного творчества. И поныне, принимаясь за разработку того или иного научного или научно-технического вопроса, связанного с химией, специалисты перелистывают «Основы», выясняя, что думал и писал по этому вопросу Менделеев.

«Основы химии» были переведены в Англии, Франции, Германии и США: они сделались прообразом всех последующих учебников химии как для высшей, так и для средней школы, на каком бы языке ни писались. Особенно ценно для советского читателя в «Основах химии» то, что теория в них неразрывно сочетается с практикой.

Начиная с 1872 г., Менделеев, возвратившись к своим юношеским идеям, проводит ряд работ по исследованию растворов и сжимаемости газов. Средства на работы по газам он получает от практически заинтересованного в них Артиллерийского ведомства. В связи с газами научный интерес Менделеева устремляется к проблемам метеорологии и воздухоплавания. В работах этого периода особенно ярко выражена связь научной деятельности Менделеева с интересами молодой тогда капиталистической промышленности России.

Отвлекаясь в сторону, он ни на минуту не забывает химии. Начиная с первого посещения Баку в 1863 г., он уделяет особенное внимание русской нефти. Сочетая, как всегда, теорию с практикой, он создаёт химическую теорию происхождения нефти[1] (действием воды на содержащиеся в недрах земли карбиды металлов), а с другой стороны, прилагает все усилия, чтобы научить отечественных нефтепромышленников рационально использовать этот дар природы путём переработки нефти, вместо того чтобы топить сырою нефтью паровые котлы. «Топить можно и ассигнациями», — негодующе восклицает он. И Менделеев был прав, когда впоследствии писал:

«У меня на глазах развилось наше нефтяное дело, и сам я в его развитии занимал такую же роль указательного пальца, какую желал бы занять в нашем каменноугольном деле».

В 1888 г. он принимается за изучение Донецкого каменноугольного бассейна и предлагает ряд мер для рационального его использования — «будущей силы, покоящейся на берегах Донца».

---

[1] Она опубликована в отчёте о посещении всемирной выставки в Филадельфии в 1876 г. «Нефтяная промышленность в Пенсильвании и на Кавказе».

«В той постоянной экономической войне, — пишет он, — которую ныне ведут все страны и которая всех затрагивает, роль каменного угля громадна потому именно, что вся современная промышленность обосновалась на угле».

Опала. Имя молодого русского учёного прогремело по всему миру. Перед Менделеевым раскрываются двери старейших академий Старого и Нового Света. И только в русской Академии наук кандидатура Менделеева, выдвинутая в 1880 г. крупнейшими русскими учёными,... проваливается. Негодование передовой научной общественности было велико.

«Давай бог всякому заслуженному учёному так «провалиться», писалось в одной либеральной газете, — как «провалился» Д. И. Менделеев. Вот уже две недели, как мы присутствуем при величественном и красноречивом протесте учёных корпораций, общества и печати...»

«Уважаемый и первоклассный учёный, — писалось в другой газете, — которому по праву принадлежит академическое кресло, произвольно лишён следующего ему почёта мелкою, злопамятною и кумовскою кликою, насидевшей себе тёплые местечки путём еле заметного научного кропательства».

Но тщетны были протесты: русским академиком Менделеев так и не сделался. Это не помешало ему с прежним успехом вести свои курсы и научную работу.

Но вот наступили тяжёлые для студенчества восьмидесятые годы. Свыше велено было подтянуть университеты, эти рассадники «свободомыслия». Молодёжь сопротивлялась наступлению реакции; бурные сходки следовали одна за другой, и на одной из них петербургским студенчеством было принято специальное обращение к министру просвещения. Но кто же вручит его царскому сатрапу? Выбор пал на любимого учителя, Менделеева.

Успокоив, как мог, студентов, седовласый учёный на другой день сам поехал к министру. Однако для министра Менделеев не был ни великим учёным, ни популярнейшим среди студентов педагогом; он был только действительным статским советником, преступавшим свои права. Ответ министра был таков, что Менделееву ничего не осталось делать, как покинуть университет, выйти в отставку. Он расстался в университетом в 1890 г.

И вот в последний раз поднимается он на кафедру и окидывает долгим взором притихшую молодёжь, переполняющую химическую аудиторию, и его прощальная лекция обращается в торжественное завещание учителя ученикам.

«Марганец...» — начинает Менделеев; он знает, что от него ждут не химической лекции; что именно ждут от него, он читает в испытующих взорах, устремлённых на него со всех сторон, но он твёдо продолжает очередную лекцию, заканчивая её так:

«...и надобно иметь фонарь науки, чтобы осветить эти глубины и увидеть в темноте. И если этот фонарь знания внести в Россию, то вы сделаете в самом деле то, чего от вас ожидает Россия».

Уход из университета сильно потряс Менделеева, но эта кипучая натура не могла долго бездействовать. Вместе с новым местом службы — Палатой мер и весов, куда он поступает в 1893 г. и где остаётся до самой смерти, появляются у него новые интересы. Искусство точных измерений, усвоенное и разработанное им для решения научных проблем, он должен теперь применить для торговли и промышленности, для экономического развития своей родины.

Менделеев возрождается. Это опять прежний Менделеев — человек с несокрушимой энергией и поразительной работоспособностью.

Ещё в период между уходом из университета и поступлением в палату Менделеев делает весьма крупный вклад в дело обороны страны своим изобретением бездымного пороха для перевооружающейся по западноевропейскому образцу русской армии. В этой выполненной в 1891 г. по поручению военного и морского министерства работе ему помогла его же собственная теория растворов.

Из работ, выполненных в палате, которую он обратил из простого хранилища эталонов единиц меры и веса в кипучую научно-исследовательскую лабораторию, наиболее важны работы о законах колебания весов.

Но Менделеев и здесь, на своём новом поприще, не забывает химии, основную роль которой усматривает в обращении природных минеральных богатств на службу человеческому обществу. Результатом его поездки в 1899 г. на уральские заводы является обширная монография о состоянии и мерах к развитию уральской железной промышленности — последний крупный труд Менделеева.

Если подвести общий итог работам Менделеева, то окажется, что максимум их (110 работ) падает на период 1872—1877 гг. Общее же число работ — 491. Из этого числа приходится на долю: химических — 40, физико-химических — 106, технических — 99, физических — 99, экономических — 36, геодезических — 22, прочих — 29.

Такова была широта интересов, диапазон деятельности этой исключительной натуры.

Предвидения Менделеева. Весь мир знает и чтит Менделеева именно как творца периодического закона, и лишь специалистам известно, как много других полезных и важных работ вышло из-под его пера; но ещё более, пожалуй, было у него проектов, неосуществимых при капиталистическом строе. Его мысль устремляется к высоким слоям атмосферы, не расставаясь при этом с «земными целями». Для того чтобы достигнуть полной победы над воздухом, ведь необходимо изучить его. В результате рождается труд о сопротивлении воздуха, который будет долго служить основным руководством для всех, кто занимается кораблестроением, воздухоплаванием и баллистикой. Доход от продажи одной из своих книг он отдаёт на устройство аэростата для изучения верхних слоёв атмосферы. «Хочется получить возможность, — пишет он при этом, — побывать выше облаков, внести и туда измерительные приборы. Меня тянет теперь в эти места». И Менделеев осуществляет свою мечту.

На закате жизни с такою же неудержимой силой будут притягивать к себе его мысль загромождённые льдами просторы северных морей.

«Лучше всего, — писал он, — на один из первых планов поставить завоевание Ледовитого океана. Если победили твердыни гор, надо и льды побороть, а у нас их больше, чем у кого-нибудь. А около тех льдов не мало и золота и всякого иного добра — своя Америка».

Но ещё больше всегда влекли Менделеева к себе недра земли с таящимися в них неисчерпаемыми богатствами, осветить которые «фонарём науки» завещал он своим ученикам. Наступит время, утверждал он, когда не будут затрачивать труда на извлечение бедных углей на поверхность земли, а прямо в её недрах превращать их в генераторный газ.

И времена, о которых мечтал Менделеев, наступили. То, что было не под силу капиталистическому обществу, сделал освободившийся от его уз пролетариат первой Страны Советов. И воздушная стихия, и холодные просторы Ледовитого океана сделались подвластны человеку; перед ним разверзлись недра земной коры, открыв в себе новые запасы железных руд, нефти и каменного угля, мировые запасы столь необходимых для сельского хозяйства калийных солей возле Соликамска и апатитов, этого «золота Севера» за полярным кругом на Кольском полуострове.

В Советском Союзе осуществилась и подземная газификация каменного угля — одна из самых ярких технических идей Менделеева.

«...Старался, пока могу, буду стараться дать плодотворное промышленное, реальное дело своей стране в уверенности, что политика, устройство, образование и даже оборона страны без развития промышленности немыслимы», — такими словами определил Менделеев сам себя.

Менделеев прожил долгую жизнь. На его глазах рос капитализм в России и выявились все его противоречия. В конце жизни Менделеева стали мучить сомнения в правоте его надежд на капитализм, но он сознательно не хотел разрушать своих иллюзий. Первый грозный вал пролетарской революции — 1905 г. — потряс его. Рассказывают, что после расстрела рабочих 9 января он молча оделся и поехал к всесильному министру Витте. Долго не возвращался он домой, повергая в беспокойство своих домашних.

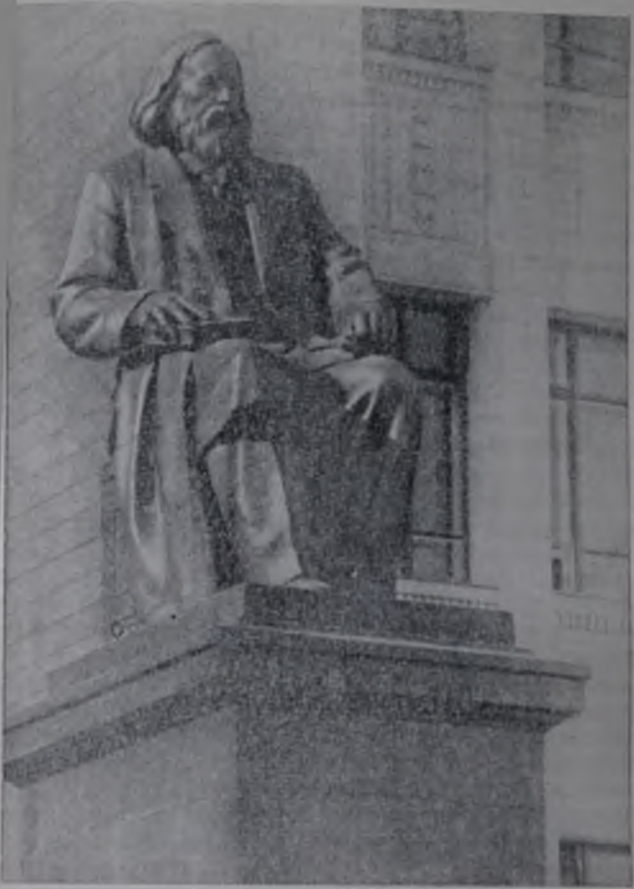


Рис. 143. Скульптура Д. И. Менделеева в Московском университете на Ленинских горах.

Когда же вернулся, снял со стены портрет Витте и сказал: «Никогда не вспоминайте об этом человеке».

20 января 1907 г. Менделеев скончался в возрасте 73 лет, прожив большую, яркую жизнь, полную непрерывного, упорного труда. Имя гениального учёного нашей родины, творца периодического закона, никогда не будет забыто человечеством.

В. Е. Тищенко

ВОСПОМИНАНИЯ О Д. И. МЕНДЕЛЕЕВЕ

Первая лекция, которую мне пришлось слушать в университете, была лекция по химии. И вот, если не ошибаюсь, 9 сентября 1879 г., т. е. 57 лет назад, я в первый раз увидел и услышал Дмитрия Ивановича Менделеева. Всё было для нас, первокурсников, непривычно: и лекционный способ преподавания и обстановка лекций с демонстрацией многочисленных опытов, и наука, о которой мы имели самое смутное представление, и так не похожий на наших гимназических учителей профессор Менделеев, на которого мы смотрели с глубочайшим уважением.

Менделеев не был оратором в обычном смысле слова. Про него кто-то сказал, что он говорит, точно камни ворочает, и это сравнение было, пожалуй, удачное. Интонация его голоса постоянно менялась: то он говорил на высоких теноровых нотах, то низким баритоном, то скороговоркой, точно мелкие камешки с горы катятся, то остановится, тянет, подыскивает для своей мысли образное выражение, и всегда подыщет такое, что в двух-трёх словах ясно выразит то, что хотел сказать. Мы скоро привыкли к этому оригинальному способу изложения, который гармонировал и с оригинальным обликом Менделеева и вместе с тем помогал усвоению того, что он говорил. Когда он замедлял речь, подыскивая подходящее слово, и наша мысль работала в том же направлении, лектор увлекал слушателей. И по содержанию лекции Менделеева были оригинальны: они оживлялись частыми отступлениями в области других наук — физики, астрономии, биологии, геологии, в область приложения химии в промышленности, в область истории химии и пр. Менделеев поражал нас обширностью своих знаний, а вместе с тем учил, что для того мы и учимся, чтобы потом нести свет знания нашей родине, разрабатывать её несметные природные богатства, поднимать её благосостояние и независимость. Он смело указывал на наши недостатки, на непригодность классической системы образования, которая даёт людей книжных, не приспособленных к жизни, не умеющих самостоятельно взяться ни за какое практически нужное дело.

За этим богатым содержанием не замечались шероховатости изложения. Аудитория Менделеева была переполнена, потому что его слушали студенты не только физико-математического, но и других факультетов.

Я усердно посещал его лекции, записывал их, по вечерам выправлял, справляясь с «Основами химии».

Прошёл год, подошли экзамены. Первым по расписанию был поставлен экзамен по химии, самый трудный и, по отзыву наших старших товарищей, самый страшный: выдержать экзамен у Менделеева было нелегко. Как старательно ни готовился я к экзамену, но шёл неуверенно и приготовился остаться на второй год, так как переэкзаменовок тогда не разрешалось. Экзаменовали двое: Д. И. Менделеев и А. М. Бутлеров. Менделеев экзаменовал быстро, нервно: посмотрит, что написано на доске, даст несколько вопросов из разных концов курса, чтобы нащупать, насколько сознательно освоен курс, и решительно ставит отметку. Бутлеров вёл экзамен спокойно, позволял экзаменующемуся подумать, давал наводящие вопросы и т. д., хотя отметки ставил не очень щедро. Уверенные в себе шли к Менделееву, хотя сплошь и рядом ошибались в самооценке, более робкие теснились к Бутлерову. Выходили не по списку, а когда кто хотел.

Мне пришлось экзаменоваться во вторую половину дня. В первую Менделеев много провалил и нагнал страху. Провалившиеся, как обыкновенно бывает, не поняв или не желая признаться, что были провалены за незнание или непонимание самых элементарных вещей, старались объяснить свою неудачу чрезмерной строгостью экзаминатора и ещё больше напугали товарищей. И вот у Бутлерова ещё более длинная очередь, а к Менделееву решаются выйти одиночки, да и из них он двоим по двойке поставил. Никто больше не выходит. А мы с Н. Я. Чистовичем сидим на первой скамейке. Д. И. обращается к аудитории и глядит на нас: «Что же, больше никто экзаменоваться не желает?» Пришлось нам выходить: Чистович к одной доске, я к другой. Как сейчас помню: дал он мне вопрос о железе. Я написал всё, что знал: и руды, и добывание, и окиси, соли, даже жёлтую и красную синильные соли и берлинскую лазурь, что у нас считалось большой мудростью. Д. И. взглянул на доску и задал ещё два или три вопроса, последний — вычислить формулу белого чугуна, содержащего 5% углерода. Тут я споткнулся в арифметике, но Д. И. меня поправил и поставил 5. Конечно, я был, что называется, на седьмом небе, но не зазнался, так как чувствовал себя в химии далеко не так твёрдо, как мне хотелось, и потому на II курсе ходил слушать Менделеева. Теперь я гораздо лучше понимал и усваивал его лекции и внимательно следил за опытами.

В то время на I курсе практических занятий по химии не было. Проходя такой трудный курс, мы должны были довольствоваться только демонстрацией лекционных опытов. И я от души завидовал ассистенту Менделеева Д. П. Павлову: вот счастливец-то, все-то опыты своими руками проделает. Того, чтобы когда-нибудь занять его место, я даже и вообразить не мог. Д. И. представлялся мне также великим, недосягаемым строителем науки.

На II курсе я слушал Бутлерова, занимался у Меншуткина качественным анализом. В осенний семестр II курса я занимался количественным анализом под руководством В. Н. Любавина. Моё рабочее место было около двери лаборатории в квартиру Д. И. Поэтому я его видел каждый день утром, а иногда и вечером, так как засиживался в лаборатории до её закрытия в 6 час. вечера. На IV курсе я работал по органической химии у А. М. Бутлерова, которого мы тоже очень любили и уважали. С этого года А. М. перенёс свою работу в академическую лабораторию. Мне дали место, мимо которого Д. И. проходил в свою лабораторию.

В лаборатории Бутлерова нам, «специалистам-химикам», разрешалось работать, смотря по надобности, хоть до поздней ночи, и мы засиживались до 12 час. ночи и позднее. Проходя в свою лабораторию, Д. И. иногда останавливался в нашей комнате, беседовал с М. Д. Львовым (ассистент Бутлерова) и Бутлеровым, если заставал его в лаборатории. Помню два разговора, когда Д. И. показался мне более снисходительным к людским слабостям, чем А. М. Бутлеров.

Первый раз А. М. Бутлеров с возмущением сообщил Д. И., что один профессор, вызванный в суд в качестве эксперта по делу о поджоге деревянного дома, написал, что поджог был произведён с помощью раствора фосфора в серной кислоте (а не в сероуглероде). А. М. очень возмущался этим элементарным незнанием, хотел заявить об этом в Химическом обществе, а Д. И. убеждал не делать этого, что просто человек ошибся. Другой раз дело касалось тоже профессора, который представил диссертацию на доктора. Диссертация была слабая, её вернули для пополнений. Но и в исправленном виде она Бутлерова не удовлетворила; он хотел отказать, но Д. И. уговорил допустить, принимая во внимание и другие работы автора.

Запомнился мне ещё интересный случай уже другого рода. Это было весной 1884 г. Как-то утром Д. И. приходит к нам в Бутлеровскую лабораторию с новой книжкой «Berichte» в руках, взволнованный, радостный, и говорит, что Кл. Винклер открыл новый элемент, германий, и помещает его в V гр., потому что он образует сульфосоль. «Только нет, он ошибается, германию место не в V, а в IV группе, это экасилиций. Я сейчас буду писать Винклеру». Как известно, эти слова Д. И. блестяще подтвердились.

Кроме лекционного ассистента (или как тогда называли «лаборанта») Д. П. Павлова, у Д. И. был ещё личный ассистент В. Е. Павлов. С осени 1884 г. В. Е. получил место доцента по кафедре аналитической химии в Московском Высшем техническом училище, а на его место Д. И. пригласил и провёл через факультет меня. Таким образом, с конца сентября 1884 г. началась моя служба в его лаборатории. Личным ассистентом я пробыл у Д. И. два года.

За это время я по поручению Д. И. провёл две большие работы по исследованию нефти и третью по определению удельных весов гидратов серной кислоты. Сперва Д. И. велел мне приготовить бигидрат, точно отвечающий формуле $H_2SO_4 . H_2O$[1]. Не сообразив сразу, я спросил Д. И.: «А как это сделать?» «На то вы и лаборант, чтобы знать, как это сделать», — был его ответ.

Порылся я в литературе, составил план работы. Д. И. одобрил. Когда бигидрат был готов, Д. И. велел мне прийти к 9 часам утра, чтобы заняться определением удельного веса. Мы проработали до шести часов вечера, с небольшим перерывом для завтрака.

Вскоре после этого, как-то среди дня, Д. И. приходит в лабораторию и говорит мне: «Возьмите два больших стакана, отвесьте столько-то граммов (кажется 500) крепкой серной кислоты и столько-то воды». Отвесил. «Возьмите термометр, лейте воду в кислоту и мешайте». Я глаза выпучил: как, лить воду в кислоту, надо обратно. «Лейте, говорю вам, только скорее». Я смекнул, в чём дело; бухнул воду сразу и быстро размешал. Д. И. взглянул на термометр: «170° — больше мне ничего не надо». И ушёл.

В ноябре 1886 г. Д. П. Павлов уехал на место профессора в Институт сельского хозяйства в Новую Александрию, и Д. И. передал мне его обязанности лекционного ассистента и заведующего хозяйством лаборатории. Вместе с этими обязанностями я получил и квартиру Д. П. Павлова, которая находилась через стенку от лаборатории Д. И., рядом с его кабинетом.

Теперь мне пришлось ещё ближе познакомиться с Д. И., так как три раза в неделю бывали лекции, да, кроме того, приходилось часто беседовать по делам лаборатории.

Надо признаться, что ассистировать на его лекциях было нелегко не потому, что это требовало много труда, а из-за нервной, беспокойной натуры Д. И. На лекциях он нервничал, всё боялся, что опыт не удастся, особенно в первый год моего ассистентства, пока не убедился в моём умении экспериментировать. Когда он замечал, что опыт ведётся не так, как он привык, он подходил и шопотом, который был слышен во всей аудитории, делал мне замечания. Я по неопытности успокаивал его, что опыт выйдет, а студентов эти разговоры приводили в весёлое настроение, и они иногда смеялись. Один раз после лекции Д. И. мне и говорит: «Привыкните вы, ради бога, на лекции ничего не говорить: ведь это их (т. е. студентов) развлекает». После этого я молчал на кафедре, как рыба; что бы он мне ни говорил, я делал своё дело, и никаких недоразумений у нас не было, тем более что и неудачи

---

[1] Серную кислоту H_2SO_4 можно рассматривать как соединение серного ангидрида SO_3 с одной молекулой воды; поэтому чистую 100% серную кислоту иногда называют моногидратом, продукт же присоединения ещё одной молекулы воды к моногидрату называют бигидратом. *(Состав.)*

Н. А. Меншуткин.

у меня случались крайне редко. В этих случаях Д. И. объяснял студентам причину неудачи и заставлял меня повторить опыт. Этим всё и ограничивалось, после лекции выговор или упрёков он не делал, хорошо понимая, что неудача чисто случайна.

К лекциям Д. И. в эти годы уже не готовился, но ассистентам вменялось в обязанность отмечать, на чём он в последнюю лекцию остановился. Он читал обычно два часа подряд с перерывом не более 15, а под конец года 10 мин., чтобы непременно полностью закончить курс. Так как он долго засиживался за работой по ночам и мог проспать, то в те дни, когда лекции начинались с 9 час., наказывал Алёше будить его, если сам не прилёт, и тогда, еле умывшись, одеваясь на ходу, быстро поднимался по лестнице, также на ходу спрашивал меня: «на чём остановился?» и, выйдя на кафедру, обычным тоном начинал лекцию.

Однако не надо думать, что ему это чтение легко давалось. Он говорил, что читать лекции — самое трудное дело. Оно требовало сильного умственного напряжения и в связи с духотой переполненной аудитории сильно утомляло. Усталый, потный он уходил из аудитории. Чтобы не простудиться на холодной лестнице по дороге в свою квартиру, он надевал осеннее пальто, которое ему приносил Алёша, и с полчаса, а иногда и более сидел в препаровочной, покуривая папиросы, которые тут же крутил, и благодушно разговаривал.

Темы этих разговоров были самые разнообразные: новости химической науки, воспоминания старины, наши университетские и лабораторные дела, учёные диспуты, магистерские экзамены, работы нашей лаборатории и т. д., вплоть до домашних дел.

Из прошлого Д. И. любил вспоминать знаменитый конгресс в Карлсруэ, на котором он присутствовал и где были твёрдо установлены основные химические понятия об атоме и молекуле. Охотно вспоминал своё первое пребывание за границей в 1859—1860 гг., когда он работал в Гейдельберге, бывал в Париже и путешествовал по Европе. Вспоминал с большим уважением известного французского химика, академика Ж. Б. Дюма; очень тепло отзывался о Вюрце, в лаборатории которого некоторое

Менделеев и его друг Богуслав Браунер.

время работал Бутлеров, а позднее Н. А. Меншуткин и А. М. Зайцев; он высоко ценил и Бертело, хотя не одобрял его за то, что он долго не принимал новых атомных весов, принятых в Карлсруэ. Из англичан его друзьями были Роско, Франкланд, Дьюар, Рамзай. С большим уважением он относился к Канниццаро. Из немцев с таким же уважением говорил о Бунзене, переписывался с Кл. Винклером. Другом его молодости по Гейдельбергу был профессор Э. Эрленмейер. Про него Д. И. рассказал мне один интересный эпизод.

В Гейдельберге во время какого-то съезда был устроен маскированный вечер, где дамы были в чёрных масках и, как говорили в старину, «интриговали» кавалеров. Дмитрию Ивановичу приглянулась одна стройная особа. Он предложил ей руку и в интересном разговоре с ней провёл вечер. Наконец, попросил снять маску, и оказалось, что это не дама, а Эрленмейер. Вспоминая это, Д. И. от души хохотал: «Как он меня заинтриговал».

Из более молодого поколения Дмитрий Иванович был в дружеской переписке с Б. Ф. Браунером, пражским профессором.

В эти же годы начался у нас разговор о постройке новой лаборатории. Д. И. подал об этом записку в совет университета, потом она пошла в министерство, но денег на постройку лаборатории не было ассигновано. Желая утешить нас, Д. И. говорил, что не в новых стенах дело: «Вот Мариньяк, когда работал в подвале, какие отличные работы делал, а выстроили ему дворец и работать перестал».

Д. И. не любил многословия, любил быстрые, краткие и чёткие ответы.

Разговоры на бытовые темы бывали самые житейские, вплоть до блинов на масляницe, о которых он говорил: «Люблю я их, проклятых, хоть они мне и вредны». Надо сказать, что в еде и питье Д. И. был очень умерен.

То, что Д. И. считал нужным и правильным, он проводил упорно, настойчиво, можно сказать, не жалея самого себя. Он писал обстоятельные докладные записки министрам и даже царям, добивался приёмов у министров, чтобы лично убеждать их, выступал в собраниях и т. д. Не всегда, конечно, ему удавалось добиться успеха, иногда приходилось терпеть неудачи, уколы самолюбия, но это его не останавливало. Помню один из таких случаев, который оставил у меня очень неприятное впечатление.

Это было в 1886 г., в год тяжёлого нефтяного кризиса, когда цена на нефть на промыслах упала до 4 коп. за пуд. Базируясь на том, что грозит быстрое истощение бакинской нефти и что нужно более бережное её расходование, крупные нефтепромышленники, с Нобелем и Рагозиным во главе, возбудили перед правительством вопрос о необходимости правительственного налога на сырую нефть в размере 15 коп. с пуда нефти. Введение налога грозило повышением цен на нефтепродукты, а главным образом было направлено к тому, чтобы убить конкуренцию мелких промышленников.

Для обсуждения этого предложения была образована при министерстве государственных имуществ комиссия из представителей нефтепромышленности и специалистов от Горного департамента. Д. И. вошёл в состав комиссии. Заседания происходили каждую неделю в течение марта. На эти заседания Д. И. брал меня с собой, чтобы я записывал содержание прений и, не дожидаясь стенограммы, передавал ему на случай, если к следующему заседанию понадобится написать возражение.

Нобель и Рагозин представили обширные доклады, защищая налог. Д. И. считал, что мнение о скором истощении нефти на Апшеронском полуострове неправильно, и был противником налога. Чтобы доказать вред налога, он составил алгебраическую формулу, в которой буквами обозначил цены нефти, рабочих рук, транспорта и пр., из которых слагается цена готового продукта (керосина и мазута), и старался показать, что, как бы ни менялись условия производства, введение налога невыгодно отразится на дальнейшем развитии промышленности и на потребителях. Он доказывал, что спасение от кризиса не в налоге, а в более полной и рациональной переработке нефти, как ценного химического сырья, и в постройке нефтепровода из Баку в Батум, чтобы дать выход нашей нефти на мировой рынок.

Доклад вышел несколько длинен и, видимо, утомил слушателей. Этим ловко воспользовался Рагозин. Он начал едко нападать и высмеивать Менделеева. Д. И. не выдержал и сделал замечание. Тогда Рагозин обратился к нему и резким, вызывающим тоном, отчеканивая каждое слово, говорит: «Когда вы о своих альфа да фи говорили, я молчал, так дайте же мне теперь о нефтяном деле говорить». Д. И. смолчал. Закончил Рагозин своё возражение так: «Нам все говорят: ничего вы не понимаете, ничего не умеете. Да мы не о тех будущих знатоках говорим, которые пишут на бумаге, мы о себе, дураках, говорим. Ведь если мы к каждому аппарату по профессору поставим, так этого никакая промышленность не выдержит».

Я ждал, что Д. И. вспылит и отчитает Рагозина. Но он промолчал: видно, нашла коса на камень. На другой день он объяснил своё молчание. «Ведь он мой характер знает и нарочно дразнил, чтобы я глупостей наговорил. А я это понял».

Это был единственный на моей памяти случай, когда Д. И. уступил. Обычно он в спорах был очень упорен, беспощаден к противнику. «Если меня заденут, я спуску не дам». На диспутах он был грозою для диспутантов, особенно если диспутант уклонялся от прямого ответа.

Д. И. умел и похвалить диспутанта, а иногда и сильно раскритиковать. Его выступления на диспутах привлекали особенное внимание присутствующих. Из многих диспутов, на которых мне пришлось быть, один крепко засел у меня в памяти.

Диссертация была слабая. Докторант (давно уже умерший профессор), сделавший позднее не одну хорошую работу, вынужден был представить её по мотивам служебного порядка. А. М. Бутлеров и Н. А. Меншуткин хотели её отклонить, но Д. И. Менделеев уговорил их этого не делать. Накануне диспута докторант приехал в Петербург и зашёл к нам в лабораторию поговорить с А. М. Бутлеровым о предстоящем диспуте. А. М. сказал ему: «Пропустить-то пропустим, но пощиплем». И пощипали.

Первым оппонировал А. М. Бутлеров. Он указал на некоторые положительные стороны, но и на ряд крупных недостатков работы; однако сделал это с присущей ему деликатностью, стараясь не очень задеть самолюбие диспутанта. Н. А. Меншуткин отнёсся суровее, вспомнив, что с той же кафедры диспутант защитил хорошую магистерскую диссертацию и что от него ждали новых серьёзных работ.

Наконец, выступил Д. И. Менделеев. Он начал с того, что «диссертации пишутся двояко: одни по практическим соображениям, потому что надо получить учёную степень... Я, конечно, не говорю, что ваша диссертация для этого представлена... Другие являются результатом задуманной работы. Один берёт тему, какую попало, лишь бы диссертация вышла. Другой задаётся определённой идеей, начинает с маленькой работы, которая постепенно развивается и в конце концов сама выливается в учёную диссертацию. Или буду говорить образно. Один идёт по тёмному лабиринту ощупью, может быть, на что-нибудь полезное наткнётся, а может быть, лоб разобьёт. Другой возьмёт хоть маленький фонарик и светит себе в темноте. И по мере того как он идёт, его фонарь разгорается всё ярче и ярче, наконец, превращается в электрическое солнце, которое ему всё кругом освещает, всё разъясняет. Так я вас и спрашиваю: где ваш фонарь? Я его не вижу!»

От этого образного сравнения жутко было за диспутанта.

В среде студенчества Д. И. пользовался огромным уважением и популярностью. Но эта популярность приносила Д. И. и тяжёлые минуты. К нему студенты обращались за помощью во время политических или академических выступлений, прося передавать высшему начальству их пожелания, «петиции».

Последняя из этих петиций и была причиною его ухода из университета. Не буду говорить здесь об этом печальном событии, так как оно уже опубликовано мною в своё время в некрологе.

Дочитав свой последний курс, Д. И. заперся дома, никуда не выходил, никого не принимал. Потом стали ходить слухи, что он начал ездить к министрам. Все были очень заинтересованы, что он затевает. На третий день пасхи вечером он зовёт меня к себе. Застаю его на обычном месте, на диване перед маленьким столиком, на котором он обычно писал. По другую сторону столика сидит художник И. И. Шишкин. На столике лист бумаги, вкривь и вкось исписанный отдельными словами.

Д. И. встретил меня очень радушно, познакомил с И. И. Шишкиным и говорит: «Задумал издавать большую газету. А вас, конечно, в редакцию». Я увидел, что он в таком хорошем настроении, и отказывать не стал».

Вот ради разрешения на издание газеты он и ездил по министрам. Однако Делянов и тут ему помешал, соглашался дать разрешение на издание не литературно-политической, а только промышленной газеты и то с предварительной цензурой.

После пасхи Д. И. как-то раз зашёл в лабораторию. Был в хорошем настроении, сел поговорить. Я спросил о газете. «Деляныч не разрешил. Да я и рад. Это дело не по мне: ведь ни днём, ни ночью покоя не было бы!»

Спустя несколько дней ко мне пришёл профессор минного офицерского класса в Кронштадте Иван Михайлович Чельцов, специалист по взрывчатым веществам, и рассказывает, что морской министр поручил ему организовать в Петербурге лабораторию по исследованию порохов и взрывчатых веществ, имея в виду главным образом разработку бездымного пороха, на который в то время переходили все государства Европы. Ввиду важности этого дела министр предложил И. М. Чельцову привлечь к нему в качестве консультанта кого-нибудь из видных химиков. Кого выбрать, об этом Чельцов и пришёл посоветоваться. Ему хоте

Менделеев за шахматами.

лось иметь такого консультанта, который мог бы выступать в высших сферах. Имена, которые он называл, показались мне неподходящими. Тогда я ему и посоветовал: «Просите Дмитрия Ивановича». «А вы думаете, он пойдёт?» «Попытайтесь».

Чельцов тотчас пошёл к Д. И. и скоро возвратился сияющий: «Согласился».

А Дмитрий Иванович не только согласился, но сейчас же с обычным своим увлечением принялся за дело. Он с утра до вечера работал в лаборатории, изучая процесс нитрации на разнообразных материалах. Брал хлопок (гигроскопическую вату), «концы» с текстильных фабрик, льняные ткани и пр. Несмотря на то, что он пользовался самыми примитивными средствами — термометром, ареометром, несколькими стаканами для нитрации, несколькими фотографическими кюветками для промывки да лакмусовой бумажкою, он удивительно быстро ориентировался в деле нитрации и определил, что устойчивая нитрация идёт до определённого предела, а дальше происходит разнитровывание при промывке. Это послужило началом обширных работ целой лаборатории, которые закончились выработкой типа бездымного пороха, пригодного для всякого рода оружия.

Летом 1891 г. Д. И. выехал из университета на частную квартиру. Теперь я встречал его только в Химическом обществе да изредка заходил навестить не надолго, чтобы не отнимать у него драгоценного времени. И здесь, и в Главной палате мер и весов, куда он позднее переехал, его кабинет был рядом с прихожей, и дверь приоткрыта. Услышав, что кто-то пришёл, он громко спрашивал: «Кто там?» Неопытный посетитель отвечал: «Это я, Д. И.» «Ну, я знаю, что «я», да кто вы?». Надо было сразу назвать фамилию. Д. И. встречал очень радушно, угощал своими папиросами (не любил запаха чужого табака), расспрашивал об университетских новостях, Химическом обществе, сам рассказывал много интересного. Время летело незаметно. Посмотришь на часы — уже 12. Скорее домой. А у Д. И. ещё корректура, которую надо утром отослать.

Нас, своих товарищей по университетской лаборатории, Д. И. встречал как своих близких, старался поддержать в трудные периоды жизни, которые у всякого бывают.

Под суровой на вид внешностью у Д. И. скрывалась редкая доброта к людям. Сколько людей приходило к нему с разнообразными просьбами, и он всегда старался удовлетворить; пошумит, поворчит, а отказать не может. Кто только к нему ни обращался письменно за советом, указаниями, а иногда и материальной помощью. Он всегда старался дать ответ; если не мог это сделать сам, поручал ассистенту. И мне приходилось исполнять такие поручения. Конечно, нельзя отрицать, что нрав у него был крутой, но он был вспыльчив, да отходчив. Слушать его крик, воркотню было иногда нелегко, но мы знали, что он кричит и ворчит не со зла, а такова уж его натура. Вероятно, в шутку он говорил, что держать в себе раздражение вредно для здоровья; надо, чтобы оно выходило наружу. «Ругайся себе направо-налево и будешь здоров. Вот Владиславлев (б. ректор) не умел ругаться, всё держал в себе и скоро помер».

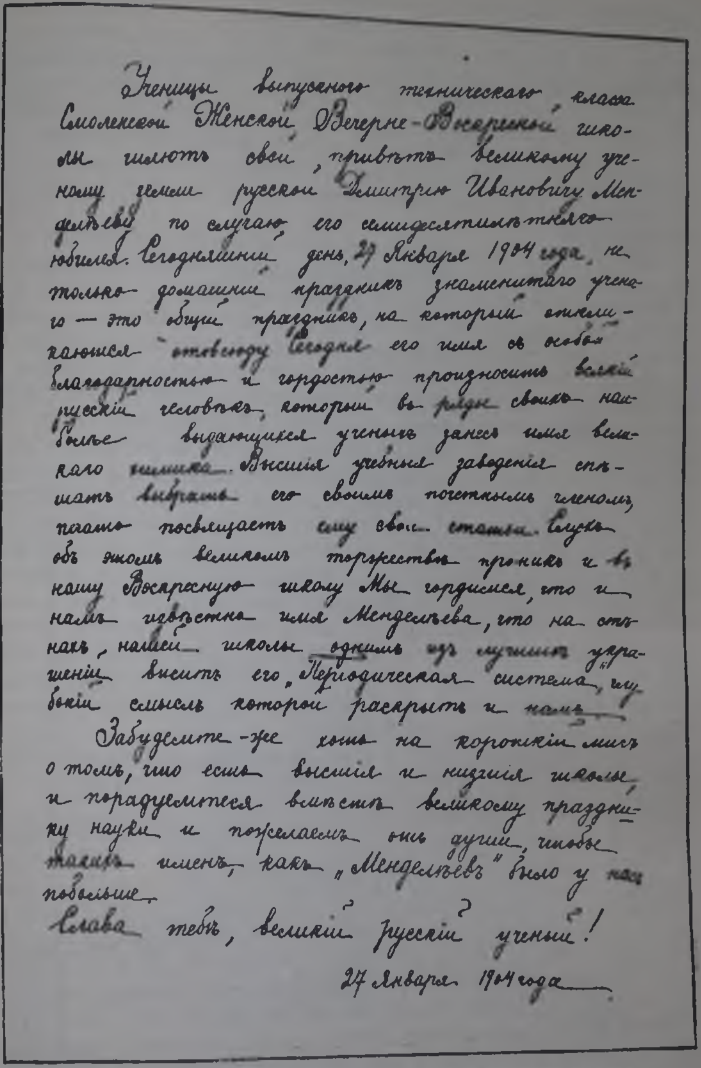
Ещё Д. И. не один раз говорил: «Я ведь не из этих, нынешних, которые мягко стелют». Мы, сотрудники Д. И., очень любили, уважали его и на его крик не обижались. Он был требователен к своим сотрудникам, но ещё более требователен к самому себе.

Как-то сильно накричал Д. И. на А. П. Зверёва. Я его и спрашиваю: «Что, Алёша, досталось?» А он говорит: «Да ведь он только кричит, а сам добрый!» Случалось, что Д. И. разбранит кого-нибудь несправедливо, а потом сам старается помириться. Один раз Д. П. Павлов добродушно осмеял неудачное распоряжение, которое Д. И. дал в лаборатории. Д. И. обиделся и после лекции жестоко, но неосновательно распёк Павлова. Тот, обиженный в свою очередь, сердитый, прошёл в свою квартиру. Через несколько минут приходит в лабораторию Д. И. и спрашивает меня: «Дмитрий Петрович здесь?» «Пошёл к себе, я его позову». «Нет, нет, не надо. Зачем его беспокоить».

Д. И. очень привыкал к своим сотрудникам, служителям, домашней прислуге и не любил их менять. У него был постоянный портной, сапожник, переплётчик, типография и пр.

Несмотря на крутой нрав, в нём не было барства. Он одинаково относился к товарищу, профессору, ассистенту, служителю.

Проведя детство на заводе и в сельской обстановке, Д. И. привык ценить физический труд, с уважением относился к крестьянам



Ученицы выпускного техническаго класса Смоленской Женской Вечерне-Воскресной школы шлютъ свой привѣтъ великому ученому земли русской Дмитрію Ивановичу Менделѣеву по случаю его семидесятилѣтняго юбилея. Сегодняшній день, 27 Января 1904 года, не только домашній праздникъ знаменитаго ученого — это общій праздникъ, на который откликаются отовсюду. Сегодня его имя съ особою благодарностью и гордостью произноситъ всякій русскій человѣкъ, который въ рядѣ своихъ наиболѣе выдающихся ученыхъ занесъ имя великаго химика. Высшія учебныя заведенія спѣшатъ выбрать его своимъ почетнымъ членомъ, печать посвящаетъ ему свои статьи. Слухъ объ этомъ великомъ торжествѣ проникъ и въ нашу Воскресную школу. Мы гордимся, что и намъ извѣстно имя Менделѣева, что на стѣнахъ нашей школы однимъ изъ лучшихъ украшеній виситъ его „Періодическая система", глубокій смыслъ которой раскрытъ и намъ!

Забудемте-же хоть на короткій мигъ о томъ, что есть высшія и низшія школы, и порадуемтеся вмѣстѣ великому празднику науки и пожелаемъ отъ души, чтобы такихъ именъ, какъ „Менделѣевъ" было у насъ побольше.

Слава тебѣ, великій русскій ученый!

27 Января 1904 года

Рис. 144. Адрес Д. И. Менделееву в день его 70-летнего юбилея от Смоленской женской вечерней воскресной школы.

и рабочим. Одинаково он относился и к людям различных национальностей, лишь бы был дельный человек.

Как все большие, сильные люди, Д. И. очень любил детей. «Люблю их за их чистоту», — писал он в одной из своих записных книжек. Один раз, вечером, когда я сидел у него, маленькая дочка его, Муся, пришла прощаться с ним перед сном. Он расцеловал её, потом пошёл уложить в постель и, когда вернулся на своё место, сказал: «Много испытал я в жизни, но не знаю ничего лучше детей... Конечно, сама природа заставляет их на свет производить».

Дмитрий Иванович Менделеев был великий, гениальный человек и, как большинство великих людей, великий труженик. А трудился он, действительно, не жалея себя.

Помню такой случай. В 1886 г. он очень торопился закончить свой большой труд «Исследование водных растворов по удельному весу». Чтобы ему не мешали многочисленные посетители, он из своего домашнего кабинета переселился в кабинет при лаборатории и работал там с утра до вечера в течение всего года. Его кабинет освещался сильной газовой лампой. В этом же году я состоял помощником делопроизводителя Химического общества и за корректурой журнала сидел иногда до 4—5 час. утра. Кабинет Д. И. отделялся от моей квартиры тонкой переборкой. Как-то раз, уже в 4 часа утра, слышу в кабинете крик Д. И. Я взглянул в окно, вижу: снег в саду сильно освещён; испугался, не пожар ли. Иду в кабинет. А Дмитрий Иванович сидит на своём обычном месте, никакого пожара нет — это был свет от сильной лампы. Спрашиваю, что нужно Д. И. «Да вот велел Алёше чаю принести, а он не несёт». «Д. И., да ведь уже пятый час утра». «О, господи! А я после обеда (в 6 час. веч.) пришёл да и задремал». Это уже сказалось сильнейшее переутомление.

Труд Д. И. ставил выше всего. Он не любил, когда его называли гением. «Какой там гений! Трудился всю жизнь, вот и стал гений».

(*«Природа»*, 1937 г.)

Д. И. Менделеев

ОТКРЫТИЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЗАКОНА

Предприняв составление руководства к химии, названного «Основы химии», я должен был остановиться на какой-нибудь системе простых тел, чтобы в распределении их не руководствоваться случайными, как бы инстинктивными побуждениями, а каким-либо определённо точным началом. Всякая система, основанная на точно наблюдённых числах, конечно, будет уже в том отношении заслуживать предпочтения перед другими системами,

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА

Периоды	Ряды	Группы элементов								
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	0
I	1	1 H 1,0080 водород						(H)		2 He 4,003 гелий
II	2	3 Li 6,940 литий	4 Be 9,013 бериллий	5 B 10,82 бор	6 C 12,010 углерод	7 N 14,008 азот	8 O 16,0000 кислород	9 F 19,00 фтор		10 Ne 20,183 неон
III	3	11 Na 22,997 натрий	12 Mg 24,32 магний	13 Al 26,98 алюминий	14 Si 28,09 кремний	15 P 30,975 фосфор	16 S 32,066 сера	17 Cl 35,457 хлор		18 Ar 39,944 аргон
IV	4	19 K 39,100 калий	20 Ca 40,08 кальций	21 Sc 44,96 скандий	Ti 22 47,90 титан	V 23 50,95 ванадий	Cr 24 52,01 хром	Mn 25 54,93 марганец	Fe 26 55,85 железо Co 27 58,94 кобальт Ni 28 58,69 никель	
	5	Cu 29 63,54 медь	Zn 30 65,38 цинк	Ga 31 69,72 галлий	32 Ge 72,60 германий	33 As 74,91 мышьяк	34 Se 78,96 селен	35 Br 79,916 бром		36 Kr 83,80 криптон
V	6	37 Rb 85,48 рубидий	38 Sr 87,63 стронций	39 Y 88,92 иттрий	Zr 40 91,22 цирконий	Nb 41 92,91 ниобий	Mo 42 95,95 молибден	Tc 43 (99) технеций	Ru 44 101,7 рутений Rh 45 102,91 родий Pd 46 106,7 палладий	
	7	Ag 47 107,880 серебро	Cd 48 112,41 кадмий	In 49 114,76 индий	50 Sn 118,70 олово	51 Sb 121,76 сурьма	52 Te 127,61 теллур	53 J 126,91 иод		54 Xe 131,3 ксенон
VI	8	55 Cs 132,91 цезий	56 Ba 137,36 барий	57 La* 138,92 лантан	Hf 72 178,6 гафний	Ta 73 180,88 тантал	W 74 183,92 вольфрам	Re 75 186,31 рений	Os 76 190,2 осмий Ir 77 193,1 иридий Pt 78 195,23 платина	
	9	Au 79 197,2 золото	Hg 80 200,61 ртуть	Tl 81 204,39 таллий	82 Pb 207,21 свинец	83 Bi 209,00 висмут	84 Po 210 полоний	85 At (210) астатин		86 Rn 222 радон
VII	10	87 Fr (223) франций	88 Ra 226,05 радий	89 Ac 227 актиний	Th 90 232,12 торий	Pa 91 231 протактиний	U 92 238,07 уран			
Высшие солеобразующие окислы		R_2O	RO	R_2O_3	RO_2	R_2O_5	RO_3	R_2O_7	RO_4	
Высшие газообразные водородные соединения					RH_4	RH_3	RH_2	RH		

* Лантаниды	58 Ce 140,13 церий	59 Pr 140,92 празеодим	60 Nd 144,27 неодим	61 Pm [illegible] прометий	62 Sm 150,43 самарий	63 Eu 152,0 европий	64 Gd 156,9 гадолиний	65 Tb 159,2 тербий	66 Dy 162,46 диспрозий	67 Ho 164,94 гольмий	68 Er 167,2 эрбий	69 Tu 169,4 тулий	70 Yb 173,04 иттербий	71 Lu 174,99 лютеций
Трансурановые элементы	Np 93 (237) нептуний	Pu 94 (242) плутоний	Am 95 (243) америций	Cm 96 (243) кюрий	Bk 97 245 берклий	Cf 98 246 калифорний								

не имеющими численных опор, что в ней останется мало места произволу. Числовые данные, относящиеся до простых тел, в настоящее время ограничены. Если физические свойства некоторых и определены с достоверностью, то это относится только до весьма небольшого числа элементарных тел. Такие свойства, как, например, оптические и даже электрические и магнитные, конечно, не могут послужить опорой для системы, потому что одно и то же тело может представлять в этом отношении различия громадные, смотря по тому состоянию, в котором оно находится. Достаточно припомнить в этом отношении графит и алмаз, обыкновенный и красный фосфор, кислород и озон. А между тем всякий из нас понимает, что при всей перемене в свойствах простых тел в свободном их состоянии нечто остаётся постоянным, и при переходе элемента в соединение это нечто — материальное и составляет характеристику соединений, заключающих данный элемент. В этом отношении поныне известно только одно числовое данное — это именно атомный вес, свойственный элементу. Величина атомного веса по самому существу предмета есть данное, относящееся не к самому состоянию отдельного простого тела, а к той материальной части, которая обща и свободному простому телу и всем его соединениям. Атомный вес принадлежит не углю и алмазу, а углероду.

Вот по этой-то причине я и старался основать систему на величине атомного веса элементов.

Первая проба, сделанная в этом отношении, была следующая: я отобрал тела с наименьшим атомным весом и расположил их по порядку величины их атомного веса. При этом оказалось, что существует как бы период свойств простых тел, и даже по атомности (валентности) элементы следуют друг за другом в порядке арифметической последовательности величин их пая (атомного веса).

Li = 7; Be = 9,4; B = 11; C = 12; N = 14; O = 16; F = 19;
Na = 23; Mg = 24; Al = 27,4; Si = 28; P = 31; S = 32; Cl = 35,5.
K = 39; Ca = 40; Ti = 50; V = 51;

В разряде элементов, имеющих пай более 100, встречаем совершенно аналогичный непрерывный ряд:

Ag = 108; Cd = 112; In = 116; Sn = 118; Sb = 122; Te = 128;
J = 127.

Оказывается, что Li, Na, K, Ag так же относятся друг к другу, как C, Si, Ti, Sn или N, P, V и т. д. Родилось тотчас предположение: не выражаются ли свойства элементов в их атомном весе, нельзя ли на нём основать систему? Далее приведён опыт такой системы.

В предполагаемой системе основою для определения места элемента служит атомный вес, ему свойственный. Сопоставление известных поныне групп простых тел по весу их атома приводит к тому заключению, что способ распределения элементов по атомному их весу не противоречит естественному сходству, существующему между элементами, а, напротив того, прямо на него указывает.

Для этого достаточно сопоставить следующие шесть групп:

	Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137
Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133
F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	J = 127
O 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128
N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122
C = 12	Si = 28		Sn = 118

Эти шесть групп ясно показывают, что между естественными свойствами элементов и величиною их атомного веса существует некоторое точное отношение. В вышеуказанных сопоставлениях бросается в глаза строгая последовательность в изменении атомных весов в горизонтальных рядах и вертикальных столбцах. Только пай теллура оказывается выходящим из ряда, но легко может быть, что он определён неточно, и если мы примем вместо 128 для него атомный вес 126—124, то система будет совершенно точною.

Притом группа фтора представляет элементы, соединяющиеся преимущественно с одним паем водорода, группа кислорода — с двумя, азота — с тремя и углерода — с четырьмя паями водорода или хлора, так что и в этом отношении естественность распределения групп в определённом порядке не нарушается числами, выражающими их атомный вес, а, напротив того, как бы предугадывается. В первом же сопоставлении мы имеем семь столбцов (может быть, наиболее естественных), из которых литий и фтор одноатомны (одновалентны) и представляют наибольшее удаление по электрохимическому порядку; бериллий и кислород, следующие за ними, двухатомны, за ними следуют бор и азот — трёхатомные, а в середине помещается четырёхатомный углерод.

...Все сличения, сделанные мною в этом направлении, приводят меня к тому заключению, что величина атомного веса определяет природу элемента настолько же, насколько вес частицы определяет свойства и многие реакции сложного тела. Если это убеждение подтвердится дальнейшим применением выставленного начала к изучению элементов, то мы приблизимся к эпохе понимания существенного различия и причины сходства элементарных тел.

Полагаю, что выставляемый мною закон не идёт вразрез с общим направлением естествознания и что до сих пор не существовало его доказательство, хотя уже и были намёки на него. Отныне, мне кажется, приобретается ещё новый интерес к определению атомных весов, в открытии новых простых тел и в отыскании новых между ними аналогий.

(*«Соотношение свойств с атомным весом элементов»*. Сообщение, сделанное от имени *Д. И. Менделеева Н. А. Меншуткиным* Русскому химическому обществу 6 марта 1869 г.)

Д. И. Менделеев

ПРЕДСКАЗАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

Теперь я желаю для дальнейшего уяснения дела высказать некоторые заключения относительно свойств как химических, так и физических тех элементов, которых недостаёт ещё в системе и которые ещё не открыты, но которых открытие весьма вероятно. Я думаю, что мы не имели до сих пор никакой возможности предвидеть отсутствие тех или других элементов потому именно, что не имели никакой строгой для них системы, а тем более не имели поводов предсказывать свойства таких элементов. Составлявшиеся системы ограничивались одним приведением в некоторый порядок известных или открытых элементов. С указанием периодической зависимости между весом атома и свойствами всех элементов оказывается возможным не только указать на отсутствие некоторых из них, но даже определить и с большей уверенностью и положительностью свойства этих ещё ныне неизвестных элементов; можно указать их атомный вес, плотность в свободном состоянии или в форме окисления, кислотность или основность степеней окисления, способность к раскислению и образованию двойных солей, обозначить при этом свойства хлористых соединений данного элемента, даже есть возможность описать и свойства некоторых соединений этих неизвестных элементов с гораздо большими ещё подробностями. Решаюсь сделать это ради того, чтобы хотя со временем, когда будет открыто одно из этих предсказываемых мною тел, иметь возможность окончательно увериться самому и уверить других химиков в справедливости тех предположений, которые лежат в основании предполагаемой мною системы.

В ряду наиболее обыкновенных элементов яснее всего поражает недостаток большого числа аналогов бора и алюминия, т. е. элементов, относящихся к III группе, а именно, несомненно, что недостаёт элемента из этой группы, следующего тотчас за алюминием и долженствующего находиться в чётном, а именно во втором ряду вслед за калием и кальцием. Так как атомный вес этих последних близок к 40 и так как затем в этом ряду следует элемент из IV группы, титан Ti = 50, то атомный вес этого недостающего элемента должен быть близок к 45. Так как этот элемент принадлежит к чётному ряду, то он должен представлять более основные свойства, чем низшие элементы III группы, т. е. чем бор и алюминий, т. е. его окись R_2O_3 должна быть основанием более энергическим, чему доказательством служит уже и то, что и окись титана TiO_2 обладает свойствами весьма слабой кислоты и даже представляет уже многие признаки ясных оснований. Но основные свойства окиси этого металла должны быть ещё слабы, подобно тому, как слабы основные свойства окиси титана; сравнительно же с глинозёмом (Al_2O_3) эта окись должна представлять более резкий основной характер, а потому, вероятно, она не будет образовывать прочного, водою не разлагаемого соединения со щелочами, а с кислотами будет образовывать постоянные соли, во всяком случае аммиак её растворять, конечно, не будет, но, может быть, гидрат и будет растворим слабо в едком кали, хотя это последнее и представляется ещё сомнительным потому именно, что этот элемент относится к чётному ряду и к группе элементов, окиси которых содержат небольшое количество кислорода. Элемент этот предлагаю предварительно назвать экабором, производя это название от того, что он следует за бором как первый элемент чётных групп, а слог эка производится от санскритского слова, обозначающего один. Eb = 45. Экабор в отдельности должен представлять металл, имеющий объём атома[1] около 15, потому что в ряду элементов второго ряда, как и во всех чётных рядах, объём атома быстро уменьшается при переходе от первых групп к следующим. Действительно, объём калия близок к 50, кальция — к 25, а объём титана и ванадия — к 9, хрома, молибдена и железа — к 7, при этом удельный вес этого металла должен быть близок к 3,0, так как вес его атома = 45. Этот металл будет нелетуч, потому что и все металлы в чётных рядах во всех группах (кроме I) нелетучи; следовательно, он едва ли может быть открыт обычным путём спектрального анализа. Воду, во всяком случае, он не будет разлагать при обыкновенной температуре, а при некотором возвышении температуры разложит подобно тому, как это производят и многие в этом ряду помещённые металлы, образуя основной окисел. Он будет, конечно, растворяться в кислотах. Хлористое соединение его $EbCl_3$ (может быть Eb_2Cl_6) должно представлять вещество летучее, но солеобразное, так как отвечает основному окислу. Вода будет на него действовать подобно тому, как она действует и на хлористые соединения кальция и магния, т. е. хлористый экабор образует тело гигроскопическое и с водою могущее выделять хлороводород. Окись экабора Eb_2O_3 должна быть веществом нелетучим, вероятно, и неплавким, в воде нерастворимым, потому что даже и окись кальция в воде весьма мало растворима, а в кислотах, однако, раствориющимся. Удельный объём (т. е. объём грамм-молекулы. — *Состав.*) её должен быть близок к 39, потому что в этом ряду окись калия имеет объём 35, объём $CaO = 18$, $TiO_2 = 20$, $CrO_3 = 36$, т. е. при содержании 1 атома кислорода объёмы сперва быстро уменьшаются, а потом слабо возрастают, а именно следующим образом: для калия = 35, для кальция = 18, для титана = 10, для хрома = 12, а потому объём для окиси экабора должен быть близок к 13, следовательно, формула Eb_2O_3 должна отвечать объёму около 39, а потому окись экабора будет представлять в безводном состоянии удельный вес, близкий к 3,5. Будучи основанием довольно энергическим, эта окись должна представлять малую склонность к образованию квасцов, хотя, вероятно, она и даёт квасцеобразное соединение, т. е. двойную соль с сернокалиевою солью[1].

---

[1] Под объёмом атома Д. И. Менделеев полагает объём, занимаемый 1 грамм-атомом. Объём грамм-атома можно найти, зная атомный и удельный веса простого вещества. Так, атомный вес кальция равен 40, его удельный вес равен 1,55. Чтобы найти объём грамм-атома кальция, нужно атомный вес (40) разделить на удельный вес (40 : 1,55 = 25). *(Состав.)*

В этой группе недостаёт из третьего ряда элемента, следующего за цинком, а потому долженствующего обладать атомным весом, близким к 68. Этот элемент мы назовём экаалюминием $EAl = 68$, потому что он следует тотчас за алюминием в III группе, Занимая положение среднее между алюминием и индием, он должен иметь свойства, близкие к этим двум элементам; квасцы, конечно, он образует. Его водная окись будет растворяться в водном кали[2], соли его будут постояннее, чем соли алюминия; так и хлористый экаалюминий должен обладать бо́льшим постоянством, чем сам $AlCl_3$. Объём его атома, судя по соображениям того же рода, какие приложены при определении свойства экабора, должен быть близок к 11,5, т. е. удельный вес его в металлическом состоянии будет близок к 6,0. Свойства этого металла во всех отношениях должны представлять переход от свойств алюминия к свойствам индия, и очень вероятно, что этот металл будет обладать большей летучестью, чем алюминий, а потому можно надеяться, что он будет открыт спектральным исследованием, подобно тому, как открыты следующие за ним индий и таллий, хотя он и будет, конечно, менее летуч, чем оба эти элемента, а потому и нельзя ждать для него столь резких спектральных явлений, какие привели к открытию этих последних[3].

---

[1] Элемент, описанный Д. И. Менделеевым под названием экабор, был открыт Нильсоном в 1879 г. и назван им скандием Sc. Его атомный вес оказался равным 45,1, уд. вес $ScCl_3 = 2,4$; уд. вес $Sc_2O_3 = 3,86$, $ScCl_3$, как это предсказывал Д. И. Менделеев, на воздухе притягивает влагу и расплывается. Поражённый совпадением свойств, предсказанных Менделеевым для экабора и обнаруженных у скандия, Нильсон писал: «Не остаётся никакого сомнения, что в скандии открыт экабор»; так подтверждаются наглядным образом мысли русского химика, позволившие не только предвидеть существование названного простого тела, но и наперёд дать его важнейшие свойства. *(Состав.)*

[2] Имеется в виду едкое кали — KOH *(Состав.)*

[3] Экаалюминий был открыт в 1875 г. спектральным путём Лекок де Буабодраном и назван им галлием. В чистом виде галлий был выделен в 1878 г. Его удельный вес оказался равным 5,9, атомный вес 69,62. *(Состав.)*

Мне кажется, наиболее интересным из несомненно недостающих металлов будет тот, который принадлежит к IV группе аналогов углерода, именно к третьему ряду. Это будет металл, следующий тотчас за кремнием, и потому назовём его экасилицием. Экасилиций должен обладать атомным весом около Es = 72, потому что за ним следует в этом ряду мышьяк. По свойствам своим экасилиций должен обладать качествами, средними между кремнием и оловом, точно так, как и экаалюминий должен обладать свойствами, средними между алюминием и индием. Экасилиций должен иметь объём около 13, потому что объём кремния = 11, а объём олова = 16. Следовательно, свободный экасилиций должен иметь удельный вес около 5,5. Остальные его свойства будут настолько напоминать свойства кремния и мышьяка, насколько свойства самого мышьяка напоминают свойства фосфора и селена, т. е. это будет во всяком случае плавкий металл, способный в сильном жару улетучиваться и окисляться, с трудом разлагающий водяные пары, не действующий почти на кислоты, т. е. не выделяющий из них водорода, и образующий очень малопостоянные соли. Щёлочи, конечно, будут оказывать на него действие, подобное тому, которое оказывают они на цинк и мышьяк. Окись экасилиция EsO_2 должна обладать удельным объёмом, близким к 22, потому что этот объём свойствен и окиси кремния и окиси олова и потому, что такой же объём получается, соображая свойства других окисей элементов, относящихся к третьему ряду, а потому удельный вес окиси этого металла должен быть близок к 4,7. Что касается до основных свойств этой окиси EsO_2, то они должны быть весьма малы: в кремнезёме их почти не существует, а в окиси олова они также слабо развиты, а потому ближе всего в этой окиси должно ожидать свойств титановой кислоты. Она, конечно, образует студенистый гидрат, способный растворяться в щелочах и кислотах и выделяющийся, однако, из них весьма легко и многими способами, подобно тому, как это замечается для титановой кислоты. Однако же по сравнению с этой последней окись экасилиция должна обладать более ясными кислотными свойствами, и потому, если экасилиций сопровождает титан в его соединениях, то должно думать, что при прочих равных условиях из кислого раствора экасилиций будет выделяться раньше титановой кислоты, а из щелочных — после титановой кислоты. Если он сопровождает окись циркония, то из кислых растворов он будет выделяться во всяком случае раньше, чем цирконий, а также, вероятно, и из щелочных. Этими немногими указаниями, относящимися до него, можно, кажется, руководствоваться при отыскании этого элемента в соединениях титана и циркония, в которых уже многие исследователи старались открыть новые элементы. Хлористый экасилиций $EsCl_4$, должен разлагаться водою, как разлагается хлористый кремний и хлористое олово, и в этом отношении будет представлять свойства, промежуточные между двумя последними. Он будет, вероятно, жидок и будет иметь частичный (молекулярный) объём около 113, потому что объём хлористого кремния = 112, а объём хлористого олова = 115, а потому удельный вес хлористого экасилиция будет около 1,9. Способность раскисляться в низшие формы окисления для экасилиция будет, конечно, мало развита, и в этом отношении, как и в других, он, вероятно, будет ближе всего подходить к титану. Температура кипения хлористого экасилиция должна быть близка к 90°. Для него можно ждать и водородистого соединения, хотя его свойства и должны быть резки, а именно, должен разлагаться легко на водород и металл, потому что даже и водородистый мышьяк обладает уже этой способностью, так же как и водородистый кремний. Во всяком случае для него вероятнее существование водородистого соединения, чем для олова, однако и для олова ещё можно ждать водородистого олова как вещества газообразного, однако чрезвычайно малопрочного. Судя по этим указаниям, мне кажется наиболее вероятным найти экасилиций в соединениях титана и циркония, хотя обработка минералов, содержащих эти элементы, представляет по нерезкости окислённых форм титана и циркония много важных практических затруднений[1].

(*«Естественная система элементов и применение её к указанию свойств неоткрытых элементов»*. Журнал Русского химического общества», 1871 г.)

Виллиам Рамзай

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН И ОТКРЫТИЕ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ

В 1893 г. лорд Рэлей опубликовал свои записки о плотностях азота. Он открыл, что плотность азота, приготовленного путём разложения аммиака, меньше на одну двухсотую, чем плотность азота, полученного из воздуха.

---

[1] Экасилиций был открыт лишь в 1886 г. Клеменсом Винклером, который назвал его германием. Атомный вес германия равен 72,6, удельный вес 5,35, удельный вес $GeO_2 = 4,7$; хлористый германий $GeCl_4$ представляет собой жидкость, кипящую при 83°.

Винклер сначала был склонен считать германий за аналог мышьяка и сурьмы. Но как только стало известно его открытие, трое учёных — Рихтер, Майер и сам Менделеев — прислали на имя Винклера письмо, где указывали, что новый элемент — это предсказанный Мендлеевым экакремний.

Дальнейшее изучение германия убедило Винклера в полной справедливости этих указаний. Винклер сам признал, что «открытие германия составляет более чем простое подтверждение смелой теории, оно знаменует собою выдающееся расширение химического поля зрения, гигантский шаг в области познания». *(Состав.)*

Эту повышенную плотность атмосферного воздуха объясняли присутствием более тяжёлого газа, чем азот. Таково было тогда и моё мнение. По моей просьбе, лорд Рэлей уполномочил меня произвести опыты, которые должны были решить этот вопрос. Чтобы связать азот, я решил пропустить воздух через нагретый металлический магний[1]. Через несколько дней мне вместе с моим бывшим учеником Перси Виллиамсом удалось удалить азот в такой степени, что плотность по водороду остатка возросла от 14 до 15. После десяти дней непрерывной обработки магнием, накалённым докрасна, плотность остатка повысилась до 19; смешав этот остаток с кислородом и подвергнув его действию электрической искры по методу Пристли и Кэвендиша[2], мы получили газ, имевший плотность 20.

Тем временем лорд Рэлей, произведя ряд опытов с целью проверить свои первые гипотезы, переменил свои взгляды, и ему удалось исключительно при помощи метода Кэвендиша получить остаток, спектр которого был ему неизвестен. Он показал вместе с тем, что количество остатка пропорционально количеству воздуха, подвергнутого обработке.

13 августа 1894 г. лорд Рэлей и я сделали доклад Британской Ассоциации в Оксфорде о новом газе атмосферы. В то время ещё не было доказано, что этот газ есть простое вещество, но я разрешил этот вопрос при помощи специально поставленных опытов. Я показал, что этот газ одноатомен и, следовательно, представляет собой элемент. Вследствие его недеятельности мы дали ему название аргон[3]; в самом деле, он не вступает в соединение ни с одним элементом. Как показал Муассан, на аргон не действует даже фтор.

В поисках за каким-нибудь признаком, который позволил бы предполагать существование какого-нибудь соединения аргона, мне пришлось исследовать газ, который, по мнению Гиллебранда, выделяется из минералов, содержащих уран. Гиллебранд опубликовал, что этот газ есть не что иное, как азот; он не упомянул, однако, что его спектр содержал неизвестные линии, и он высказал бы мнение, что имеет дело с новым элементом, если бы коллеги не подняли его на смех.

Повторяя опыты Гиллебранда, мой ученик Мэтьюс и я действовали кипящей кислотой на минерал клевеит, содержащий уран; при этом выделялся газ, который после отделения обыкновенных газов обладал новым спектром и имел плотность по водороду 2. Тотчас же была замечена яркая жёлтая линия, которая до сих пор наблюдалась исключительно в спектре хромосферы солнца Янсеном. Фракланд и Локкиер приписывали эту линию присутствию нового элемента, который они назвали гелием, от греческого слова «гелиос» — солнце. В течение лета 1895 г. мы изучили этот новый газ и определили его константы. Подобно аргону, он недеятелен и одноатомен.

---

[1] Магний с азотом образует нитрид магния Mg_3N_2. *(Состав.)*

[2] При пропускании электрической искры через воздух азот соединяется с кислородом. *(Состав.)*

[3] Аргон по-гречески значит «недеятельный». *(Состав.)*

Гипотеза о периодической классификации элементов, которую разработал великий русский учёный Менделеев, показывает, что элементы делятся на группы, каждая из которых содержит сходные элементы.

Элементы каждой группы обнаруживают соответствие в порядке своих свойств и в формулах своих соединений. Например, члены щелочного ряда все представляют собой мягкие металлы, которые бурно действуют на воду, образуют хлориды с общей формулой MCl и т. д.; галогены все обладают сходным запахом; все они окрашены и образуют соли, имеющие сходную формулу. По аналогии можно предсказать, что между гелием и аргоном существует элемент с атомным весом 20, недеятельный, как эти два газа: новый элемент должен иметь характерный спектр и менее легко сгущаться, чем аргон. Можно было бы также предсказать существование двух аналогичных газообразных элементов, имеющих атомные веса 82 и 129.

Мой бывший ассистент Моррис Траверс и я искали эти элементы в течение двух лет, с 1896 по 1898 г. Мы исследовали минералы, тёплые минеральные воды и метеориты, но не нашли никаких следов этих элементов. Урановые минералы все содержали гелий. В начале 1898 г. мы решили исследовать достаточно большое количество аргона, чтобы выяснить, не существуют ли искомые элементы в атмосфере.

Но как было приступить к этому исследованию? По счастливому случаю в это время один из моих друзей, Гампсон, только что усовершенствовал аппарат, дающий возможность сжижать атмосферный воздух в больших количествах путём понижения температуры вызываемого внезапным расширением воздуха. В то время эта идея была достаточно нова, и, как часто случается в науке и технике, на ту же мысль одновременно напал Линде. В самом деле, оба исследователя, Гампсон и Линде, получили патенты на свои аппараты в течение одного и того же месяца.

Гампсон любезно предоставил в наше распоряжение один из своих первых образчиков жидкого воздуха — около 100 кубических сантиметров. После того как его свойства были продемонстрированы студентам в моей лаборатории, осталось ещё несколько кубических сантиметров. Тогда я вздумал рассмотреть его спектр, предварительно освободив его от деятельных газов; ему дали испаряться в газометре и при помощи указанных реактивов отняли кислород и азот. Остаток обнаружил спектр аргона, но одновременно мы наблюдали две яркие линии, одну в жёлтой части спектра и другую в зелёной. В тот же вечер мы определили плотность газа; она на 2 единицы превышала плотность аргона; она была равна, следовательно, 22; мы назвали этот газ криптоном, т. е. скрытым.

Ободрённые этой удачей Траверс и я с помощью жидкого воздуха подвергли охлаждению в маленьком пузырьке около пятнадцати литров аргона, на приготовление которого потребовалось несколько месяцев. Таким путём получается прозрачная и подвижная жидкость, отвердевающая при температуре, которая на несколько градусов ниже её точки кипения, под атмосферным давлением. Пузырёк сообщался с резервуаром, наполненным ртутью, позволявшей собрать первые порции предполагаемого газа, который должен был кипеть при более низкой температуре, чем аргон. Присутствие его было довольно вероятно, так как между гелием с атомным весом 4 и аргоном, имеющим атомный вес 40, должен был находиться новый газ, как я уже упомянул.

Можете себе представить нашу радость, когда мы увидели спектр, который я вам показываю. Спектр состоит из множества красных, оранжевых и жёлтых линий, которые производят этот чудесный цвет пламени. Плотность этого газа по водороду была равна 10 или скорее 9, так как он ещё не был чист. Мы назвали его неоном, от греческого слова «неос», означающего «новый». Он был очищен путём замораживания в машине, сконструированной Траверсом при содействии моего механика Гольдинга. Эта машина дала нам возможность изготовить несколько сот кубических сантиметров жидкого водорода. Охладив смесь обоих газов до —253 градусов, мы удалили гелий при помощи насоса, а неон остался в твёрдом, совершенно чистом состоянии. Его плотность по водороду тогда была такой именно, какую мы ожидали, т. е. 10, а его атомный вес, следовательно, был равен 20.

Наша работа была лишь началом. Во всё время, с апреля 1898 г. до августа 1900 г., мы не переставали определять свойства этих газов. Мы даже открыли пятый газ. Чтобы освободить криптон от аргона, необходимо было подвергнуть его методической фракционировке; мы заметили, что после испарения криптона всегда оставалось несколько пузырьков газа, который можно было выкачать насосом сейчас же по удалении жидкого воздуха; этот газ обладал характерным спектром, и мы дали ему имя ксенон, что обозначает «посторонний».

Открытие этих элементов должно быть чрезвычайно трудным. Если мы вспомним открытие таллия сэром Вильямом Круксом, открытие галлия — Буабодраном, скандия — Клеве, точнее, Нильсоном, и германия — Винклером, то мы убедимся, что никто не мог бы сказать заранее, где следовало искать эти тела, которые тогда были неизвестны. Иначе, однако, обстоит дело с газами атмосферы; благодаря их инертности и летучести мы можем быть уверены, что *если они существуют, то они непременно должны быть найдены в атмосфере, как бы мало ни было их количество.*

Поэтому, когда мне было предложено исследовать остатки перегонки более 100 *т* жидкого воздуха, я с радостью ухватился за этот случай, надеясь найти здесь недостающие ещё по сию пору элементы недеятельного ряда.

Очистка большого количества газа от кислорода и азота — операция довольно трудная. Кислород мы удалили с помощью фосфора, азот — посредством смеси кальция и магния, накалённых докрасна, углеводороды и водород — окисью меди, окислы углерода — натронной известью и пары воды — фосфорным ангидридом. Инертные газы мы отделили одни от других путём фракционирования; при охлаждении их до —185° с помощью жидкого воздуха аргон легко отделяется, так как его точка кипения не очень разнится от этой температуры. После испарения аргона криптон был удалён насосом, а большая часть ксенона осталась в ампуле. Методически повторяя эти операции, мы достигли, наконец, полного разделения этих трёх газов.

Но тогда возник вопрос: нет ли там четвёртого или даже пятого газа? Чтобы разрешить этот вопрос, мы снова начали операцию, взяв 300 *см*³ ксенона, количество сравнительно огромное. Мы превратили его в жидость при температуре —130° и подвергли методической фракционировке. Время от времени мы фотографировали и рассматривали спектр этих фракций и скоро установили абсолютную тождественность спектра оставшейся у нас последней трети кубического сантиметра со спектром бесспорно чистого ксенона.

Относительное количество ксенона в атмосфере выражается дробью 1 : 170 000 000; у нас, естественно, возник вопрос, как велика вероятность, что существует и подлежит открытию ещё один неизвестный газ. Мы оперировали с остатками, получившимися после обработки 100 *т* воздуха, т. е. 77,4 миллиона литров, и получили 300 кубических сантиметров ксенона.

Следует ли заключать из предыдущих опытов, что не существует тяжёлых газообразных элементов ряда аргона?

Я этого не думаю, но считаю правдоподобным, что их не удалось отделить от других газов атмосферы по причине их неустойчивости. Словом, из них состоит эманация радия, тория и актиния.

(*Сборник «Успехи химии»*, 1912 г)

Д. И. Менделеев

ОПЫТ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВ

При установлении периодической системы (1869) не только не были известны аргон и его аналоги, неспособные к каким-либо обычным формам соединений, но и не было повода подозревать возможность существования подобных элементов. Ныне, когда известна целая их группа: He, Ne, Ar, Kr и Xe и когда стало очевидным, что у них столь же много общего, как в группе щелочных металлов или у галоидов, надо было признать, что они так же между собой близки, как эти последние. Это было своего рода испытанием теоретической стороны периодического закона, вроде того испытания, которое ему дано было помещением бериллия в число элементов II, а не III группы. Как это последнее испытание выдержано было с успехом (так как окиси бериллия должно приписать состав окислов II группы, что требовал закон), так периодическая законность, нимало не нарушаясь, оказалась удовлетворяющей и аргонным элементам... Эти элементы по величине их атомных весов заняли точное место между галоидами и щелочными металлами, как показал Рамзай в 1900 г. Из этих элементов необходимо образовать свою особую нулевую группу, которую прежде всех в 1900 г. признал Еррера в Бельгии. Считаю здесь полезным присовокупить, что прямо судя по неспособности к соединениям элементов нулевой группы, аналогов аргона должно поставить раньше элементов I группы и по духу периодической системы ждать для них меньшего атомного веса, чем для щелочных металлов. Это так и оказалось, а если так, то это обстоятельство, с одной стороны, служит подтверждением правильности периодических начал, а с другой стороны, ясно показывает отношение аналогов к другим, ранее известным элементам.

Утверждение закона возможно только при помощи вывода из него следствий, без него невозможных и не ожидаемых, и оправдания тех следствий в опытной проверке. Поэтому-то, увидев периодический закон, я, со своей стороны (1869—1871), вывел из него такие логические следствия, которые могли показать — верен ли он или нет. К числу их относится предсказание свойств неоткрытых элементов и исправление атомных весов многих, мало в то время обследованных элементов... Надобно что-либо одно — или считать периодический закон верным до конца и составляющим новое орудие химических знаний или его отвергнуть. Признавая путь единственно верным, я сам проверял, что мог, и дал в руки всем возможность проверять или отвергать закон и не думал, как Л. Мейер («было бы поспешно изменять до ныне принятые атомные веса на основании столь непрочного пункта»). По моему мнению, следовало новую точку опоры, представляемую периодическим законом, или утвердить, или отвергнуть, а опыт её везде оправдал, где ни прилагались к тому усилия. Без такого способа испытания не может утвердиться ни один закон природы. Ни Ле Шанкуртуа, которому французы приписывают право на открытие периодического закона, ни Ньюлэндс, которого выставляют англичане, ни Л. Мейер, которого цитировали иные как основателя периодического закона, — не рисковали предугадывать свойства неоткрытых элементов, изменять «принятые атомные веса атомов» и вообще считать периодический закон новым, строго постановленным законом природы, могущим охватывать ещё доселе необобщённые факты, как это сделано мною с самого начала (1869).

Писавши в 1871 г. статью о приложении периодического закона к определению свойств ещё некоторых элементов, я не думал, что доживу до оправдания этого следствия периодического закона, но действительность ответила иначе. Описаны были мною три элемента: экабор, экаалюминий и экасилиций, и не прошло 20 лет, как я имел уже величайшую радость видеть все три открытыми и получившими свои имена от тех трёх стран, где найдены редкие минералы, их содержащие, и где сделано их открытие: Галлия, Скандия и Германия. Л. де Буабодрана, Нильсона и Винклера, их открывших, я, с своей стороны, считаю истинными укрепителями периодического закона. Без них он не был бы признан в такой мере, как это случилось нынче. В такой же мере я считаю Рамзая утвердителем справедливости периодического закона, так как он открыл He, Ne, Ar, Kr и Xe, определил их атомные веса, и эти числа вполне подходят к требованиям периодической системы элементов...

Меня неоднократно спрашивали, на основании чего, исходя из какой мысли, найден был мной и защищаем периодический закон. Приведу здесь посильный свой ответ.

...Посвятив свои силы изучению вещества, я вижу в нём два (важных) признака или свойства: массу, занимающую пространство и проявляющуюся в притяжении, а яснее или реальнее всего в весе, и индивидуальность, выраженную в химических превращениях, а яснее всего формированную в представлениях о химических элементах. Когда думаешь о веществе, помимо всякого представления о материальных атомах, нельзя для меня избежать двух вопросов: сколько и какого дано вещества, чему и соответствуют понятия: массы и химизма. История же науки, касающейся вещества, т. е. химии, приводит — волей или неволей — к требованию признания не только вечности массы, вещества, но и и вечности химических элементов. Поэтому невольно зарождается мысль о том, что между массою и химическими особенностями элементов должна быть связь, а так как масса вещества, хотя и не абсолютная, а лишь относительная, выражается окончательно в виде атомов, то надо искать функционального соответствия между индивидуальными свойствами элементов и их атомными весами. Искать же чего-либо — хотя бы грибов или какую-нибудь зависимость — нельзя иначе, как смотря и пробуя. Вот я и стал подбирать, написав на отдельных карточках элементы с их атомными весами и коренными свойствами, сходные элементы и близкие атомные веса, что быстро и привело к заключению, что свойства элементов стоят в периодической зависимости от их атомного веса, причём, сомневаясь во многих неясностях, я ни на минуту не сомневался в общности сделанного вывода, так как случайности допустить было невозможно...

(*«Основы химии»*, 1906 г.)

ГЛАВА X

РАДИОАКТИВНОСТЬ И СТРОЕНИЕ АТОМА

> «Электрон так же неисчерпаем, как и атом»
>
> (Ленин, Соч., т. XIII, 1926, стр. 215.)

Б. Иффе

МАРИЯ СКЛОДОВСКАЯ-КЮРИ

В пустынную область южного Колорадо во второй половине 1920 г. пришла небольшая группа людей добывать руду.

Триста сильных рабочих лихорадочно работали, чтобы собрать гору песку, называемого карнотитом. Они рыли, обливаясь потом, и часто проклинали безумца-начальника, угнавшего их далеко от цивилизованных мест. Рабочие кидали в вагоны канареечно-жёлтый песок, а буйволы тяжёлой поступью тащили их восемнадцать миль по бездорожной стране, лежавшей на высоте полмили над уровнем моря. В конце этого трудного пути, около ближайшего к рудным шахтам источника водяной силы, был построен завод для получения концентратов, где пятьсот тонн руды были обработаны химически до тех пор, пока от них осталось только сто тонн. Обработанная руда была измельчена в порошок, запакована в стофунтовые мешки и отправлена на пароходе за шестьдесят пять миль в Пласервиль.

В этом железнодорожном центре мешки были погружены в товарные вагоны и отправлены за две тысячи пятьсот миль в Канонсбург, в Пенсильванию.

Здесь двести человек поджидали этот груз: в результате его обработки количество порошка уменьшилось до нескольких сотен фунтов. Рабочие, привыкшие к обращению с химическими веществами, должны были затратить тонны кислот, воды и угля, чтобы извлечь из руды неоценимое сокровище. Ни один грамм драгоценного вещества, содержащегося в этой горе пыли, не должен быть утерян при бесчисленных кипячениях, фильтрованиях и кристаллизациях. Проходили месяцы, и, наконец, всё, что осталось от песков, взятых в Колорадо, было послано под специальной охра-

Мария Склодовская-Кюри
(1867—1934).

ной в исследовательскую лабораторию Стандартной химической компании в Питсбурге. И только теперь началось окончательное испытание — тщательный и кропотливый процесс разделения Понадобился год работы, чтобы добыть из этих пятисот тонн пыли несколько кристалликов соли.

За напёрсток светящейся соли пятистам человекам приходилось бороться с горой руды: это было самое драгоценное вещество во всём мире — в сто тысяч раз более дорогое, чем золото. На добычу одного грамма этой соли было истрачено сто тысяч долларов. Баснословная цена за волшебный камень!

Радий — вот тот волшебный элемент, приведший отряд рабочих в пустынное Колорадо копать карнотит.

Почти двадцать пять лет назад Мария Склодовская-Кюри, имея только одного помощника — своего любимого Пьера, проделала чудесную работу, которую пятьсот сотрудников выполнили при поддержке крупной организации, имевшей в своём распоряжении всё необходимое научное оборудование. Она же сделала это в старом заброшенном сарае в Париже.

Недавно ещё в главной лаборатории Института радия при Парижском университете эта женщина, прожившая свыше шестидесяти лет, спокойно работала со своими пробирками и колбами тогда как весь мир ожидал от неё дальнейших открытий. Годы не сломили эту бессменную «мойщицу посуды». Она была выше среднего роста, с широкими плечами. Её прекрасный выпуклый лоб был увенчан густыми волнистыми седыми волосами, некогда белокурыми. Её кроткие, выразительные, светлоголубые глаза были полны печали.

Великий русский химик Д. И. Менделеев видел эту женщину ещё молодой девушкой, приготовлявшей растворы в лаборатории своего двоюродного брата в её родном городе Варшаве Он был знаком с её отцом, профессором математики и физики в высшей школе. Однажды Менделеев сказал, что Марии принадлежит великое будущее, если она посвятит себя химии. Мария взглянула на своего отца, улыбнулась, но ничего не сказала. Эта скромная и сдержанная девушка, оставшаяся без матери ещё

Пьер Кюри *(1859--1906)*.

совсем ребёнком, страстно любила своего отца. Каждую субботу по вечерам он сидел около лампы и читал произведения поэзии и прозы польских классиков. Она заучивала большие отрывки и декламировала их отцу.

Когда Марии исполнилось семнадцать лет, домашние обстоятельства заставили её принять место гувернантки в семье помещика. Польша страдала под владычеством царской России. Тайно организовывались кружки молодых людей, поклявшихся бороться за свободу своей страны. Среди наиболее рьяных заговорщиков было несколько студентов, учеников отца Марии. Они нелегально собирались, чтобы преподавать по-польски те предметы, которые лучше всего знали. Мария вступила в один из этих кружков. Она слышала, что за четыре года до её рождения русское правительство расстреляло из пушек женщин, стоявших на коленях в снегу, ненавидела царское правительство и даже сотрудничала в одной революционной газете, что было связано с большой опасностью.

Царская полиция арестовала некоторых из этих молодых революционеров. Мария избежала сетей полиции, но, чтобы избежать необходимости выступить свидетельницей против одного из своих бесстрашных друзей, покинула Варшаву и ненавистную царскую неволю. Зимой 1891 г., в возрасте двадцати четырёх лет, Мария приехала в Париж. Париж, впоследствии город её научных триумфов, в первые годы пребывания в нём был для неё местом тяжёлых лишений. Она сняла маленькую комнату на чердаке, в котором было очень холодно зимой и страшно жарко летом. Мария должна была таскать на пятый этаж воду и уголь для топки маленькой печки, немного согревавшей помещение. Она должна была урезывать себя во всём, так как её ежедневные расходы не могли превышать полфранка (16—20 коп.). Её обед состоял иногда из одного хлеба и кофе. В те редкие дни, когда Мария позволяла себе роскошь пообедать мясным блюдом и вином, она с трудом узнавала вкус этих продуктов. Но Мария не обращала внимания на эти лишения. Она приехала в Париж, чтобы учиться и учить. Старый и больной Пастер был кумиром Франции, и Мария начала мечтать о научной карьере. Удивительно, что она решилась лелеять эти мечты, несмотря на то, что в то время доступ к науке был закрыт для женщин. Но Мария верила, что именно ей предстоит великая роль в науке. Разве Менделеев не предсказал ей этого? С быстротой молнии приняв твёрдое решение, Мария отправилась в Сорбонну[1] и была «внесена в списки». Это означало, что она будет иметь право мыть посуду и следить за огнём в печи в лаборатории, избежав таким образом расходов на обучение. Но ведь Фарадей начинал так же — почему бы не могла с этого начать и Мария?

В лаборатории директора, основателя муниципальной школы физики и химии в Париже, Шютценберга, в то время работал Пьер Кюри, высокий молодой человек, с каштановыми волосами и ясными глазами. Он получил учёную степень при окончании Сорбонны и теперь проводил исследовательскую работу совместно со своим братом Жаком над электрическими конденсаторами и магнитными свойствами железа. В 1894 г. в доме общих друзей Мария встретилась с Пьером. В июле 1895 г. они поженились. Пьер вскоре получил место профессора физики в муниципальной школе. Мария продолжала учиться.

Оба они снова вернулись в лабораторию, когда в Вюрцберге Вильям Конрад Рентген открыл лучи большой проницающей способности. 4 января 1896 г. Рентген описал эти Х-лучи, как их он назвал в заседании Германского физического общества, и как только проникла в Париж весть об открытии этих Х-лучей, способных проникать через твёрдые тела и обрисовывать скелет человека, случилось важное событие в тёмной фотографической комнате скромной лаборатории парижского профессора Анри Антуана Беккереля. Уже давно было известно, что фосфоресцирующие вещества, подвергающиеся воздействию солнечного света, начинают светиться в темноте. Беккерель старался определить, испускают ли эти фосфоресцирующие вещества лучи Рентгена. Событие, происшедшее в лаборатории Беккереля, не было таким, которое помещается на переднем листе газет, но результаты его в конце концов всё же всколыхнули весь мир. Из случайного наблюдения Анри Беккереля вытек целый ряд открытий, закончившихся триумфальной работой М. Кюри. Беккерель случайно положил на светочувствительную фотографическую пластинку, лежавшую на столе в его тёмной комнате, кусочек урановой руды. Соли урана были известны ещё с 1789 г., их употребляли для окраски стекла. Это вещество, казалось, не обладало никакими замечательными свойствами. Но вот однажды утром Беккерель обнаружил явления, выходившие за пределы того, что он мог ожидать. Он заметил, что в совершенно тёмной комнате пластинка, завёрнутая в чёрную непроницаемую для света бумагу, изменилась как раз в том месте, на котором поверх её лежала урановая руда. Он не мог этого понять! Может быть, кто-нибудь сыграл с ним шутку? Чтобы подтвердить это явление, он сознательно повторил опыт. Результат был тот же. Фотографическая пластинка изменилась под влиянием урановой руды, без воздействия видимого света. Как объяснить это странное явление? Он повторил опыт с другими рудами, содержащими уран. Во всех случаях на пластинках наблюдалась засвеченная точка. Он произвёл анализ руд, чтобы определить содержание в них урана, и сразу увидел, что интенсивность действия на пластинку была прямо пропорциональна количеству содержащегося в каждой руде урана.

---

[1] Университет в Париже. *(Состав.)*

Беккерель, знаменитый потомок семьи, прославившейся своими исследованиями над флуоресценцией, был готов сделать определённый вывод. Он заявил, что соли урана, находившиеся во всех образчиках руды, были единственной причиной удивительного действия, оказываемого на фотографическую пластинку. Но он не очень долго придерживался этого взгляда. Беккерель произвёл испытание важнейшей урановой руды — смоляной обманки, минерала, находимого в северной Богемии. Это был странный камень. Руда действовала на пластинку уже не пропорционально количеству содержавшегося в ней урана, но гораздо сильнее: она была гораздо активнее, чем этого можно было ожидать по содержанию в ней урана.

Занялась заря счастливых дней и для Марии. Беккерель понял, что эта девушка в Сорбонне является первоклассным учёным. Он следил за её работой в лаборатории. Наблюдая, как она взвешивает и собирает приборы, он увидел, что Мария обладает навыками ловкого и хорошо обученного экспериментатора. Да, она уже слышала про удивительные новости. Беккерель предложил ей заняться этим вопросом. Мария обсудила вопрос с Пьером, заявив при этом, что, по её мнению, повышенная активность богемской руды связана с присутствием в ней до сих пор неизвестного элемента, более деятельного, чем уран. Она ему говорила: «Это вещество не может быть ни одним из известных уже элементов, так как они все достаточно исследованы; это должен быть новый элемент».

Супруги Кюри не имели денег для того, чтобы начать исследование. Они взяли денег взаймы. Никто из них не знал, сколько времени продлится эта работа. Они написали австрийскому правительству, которому принадлежали копи смоляной обманки. Австрийские организации согласились помочь им. Вскоре из копей Иоахимсталя прибыла в Париж тонна руды. Мария была твёрдо убеждена, что в этой груде земли скрывается неизвестный ещё элемент.

Начались изнурительные дни для супругов Кюри. Они работали без передышки, не теряя ни одной минуты; исследование было слишком увлекательным. Они кипятили и обрабатывали эту землю, фильтровали, отделяли примесь за примесью. Когда ядо-

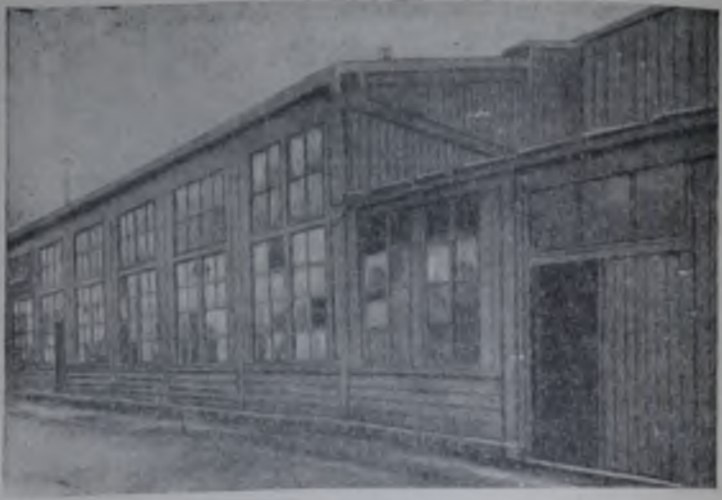


Рис. 145. Лаборатория Кюри в сарае, где был открыт радий.

витые газы угрожали задушить их под дырявой крышей импровизированной лаборатории, Мария сама поднимала и относила большие чаны с жидкостью на прилегающий двор. Она могла исполнять сверхчеловеческую работу. Часами следила она за кипением в чане, помешивая густую жидкость большой железной палкой. Удушливые пары превратили их сарай в ад. Тут же с ней был Пьер, поднимавший тяжёлые склянки с реактивами и мечтавший о научных победах.

Наступила суровая зима 1896 г., застав эту чету «безумцев» за непрерывной работой в холодном сарае. Мария не смогла не сломиться в этом страшном напряжении. Вскоре воспаление лёгких приковало её к постели, и прошло три месяца, пока она не окрепла настолько, чтобы снова вернуться к своим кипящим маточным растворам. Пьер также к концу рабочего дня бывал разбит от усталости. Но исследование продолжалось.

В сентябре 1897 г. у Кюри родилась дочь. Друзья молодости Пьера пришли поздравить их. Дебьерн, открывший актиний, Перрен, «счётчик молекул», и Жорж Урбен были среди гостей. Мать, беспомощно лежавшая в кровати, продолжала думать о своей оставленной работе в сарае. Когда ребёнку исполнилась всего одна неделя, Мария уже вернулась в свою мастерскую, чтобы произвести одно испытание, которое обдумала, лёжа в кровати. Марии было очень трудно совместить уход за Ирэной, так назвали они свою дочь, с продолжением своей научной работы. Но скоро был найден выход. Недавно умерла мать Пьера,

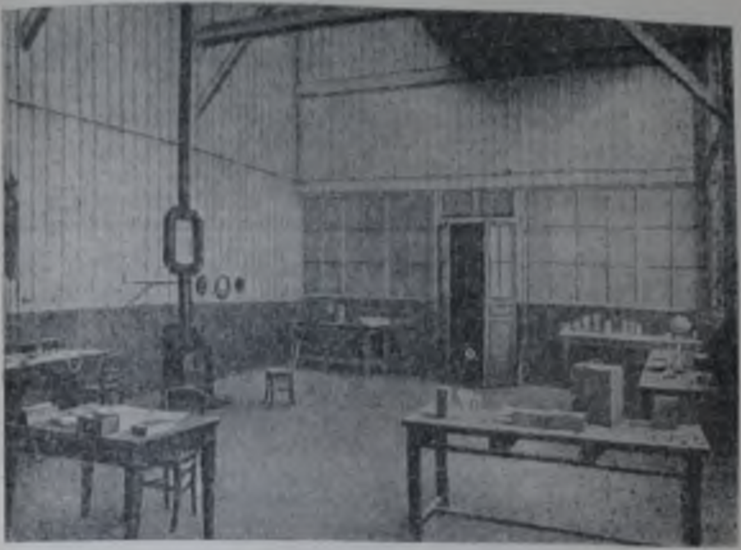


Рис. 146. Внутренний вид лаборатории Кюри

и его отец, отставной врач, приехал, чтобы жить с ними вместе. Дедушка стал ухаживать и воспитывать маленькую внучку, в то время как родители сражались с горой песка.

За это время груда смоляной обманки уменьшилась до ста фунтов. Они контролировали разделение путём электрических измерений; при помощи этих измерений можно было отделить более активные части, содержавшиеся в их материалах, от неактивных частей. Часто, во время какой-либо химической операции, которую нельзя было прервать, Пьер часами непрерывно работал один, тогда как Мария наспех готовила еду, которую они съедали, продолжая своё испытание. Прошёл ещё один год в этой героической работе. Снова Мария захворала. Пьер готов был отказаться от продолжения работы, но Мария не теряла мужества. Позже Мария вспоминала, что, несмотря на все их страдания, «в этом жалком сарае мы провели лучшие и счастливейшие годы нашей жизни».

Супруги Кюри были одиноки в своей научной борьбе. Никто им не помогал. Когда прошло почти два года непрерывной работы, весть о великом опыте стала проникать через стены их сарая, хотя они и старались держать его в секрете. Пьер получил приглашение занять место профессора физики в Женевском университете. Это было заманчивым для него предложением. Он съездил в Швейцарию, но вскоре вернулся. Их великой работе грозила опасность в случае его согласия. Мария была вновь счастлива. Они уже выделили небольшое количество солей висмута, содержавшего примесь какого-то чрезвычайного активного элемента. Скоро выяснилось, что этот элемент в триста раз активнее урана. Мария принялась за работу и выделила из соли висмута новое вещество, похожее на никель. Может быть, это вещество и было новым элементом. Она подвергла его всяческим испытаниям, и в июле 1898 г. объявила об открытии до тех пор неизвестного элемента, названного ею в честь своей родины полонием. Вначале существование этого нового элемента было взято под сомнение. Многие учёные предполагали, что вещество, выделенное супругами Кюри, было смесью висмута с каким-нибудь другим элементом. Но вскоре открытие подтвердилось. Другие учёные, может быть, и удовлетворились бы открытием этого элемента, в сотни раз более активного, чем уран, но не Мария и Пьер Кюри. Они всё ещё продолжали работать с остатками от тонны смоляной обманки, теперь доведёнными ими до количеств, помещавшихся в небольшой колбе или пробирке. Эта последняя фракция, казалось, обладает ещё большей активностью, чем сам полоний. Возможно ли это? Мария ни минуты в этом не сомневалась. Она смотрела на эти остатки, полученные в результате двухгодичных утомительных экстракций и перекристаллизаций. Количество их было очень незначительно: теперь надо было быть чрезвычайно осторожной. Она исследовала каждую каплю раствора, проходившую через фильтр, анализировала каждый кристаллик, задержавшийся на фильтровальной бумаге. Ни одна пылинка драгоценного вещества не должна ускользнуть. Мария и Пьер продолжали работать. Однажды ночью они пошли в свой сарай. Несколько лет назад это было заброшенное помещение; теперь оно имело более привлекательный вид. Вместо «глыб», дожидавшихся своего расчленения, они «увидели со всех сторон слабо мерцающие силуэты бутылей и ампул, наполненных новым светящимся продуктом. Это были как бы земные звёзды — искрящиеся трубки в этом убогом грубом сарае». Мария и Пьер знали, что они близки к цели.

Они обратились к Бемонту, заведующему лабораторией в Сорбонне, с просьбой помочь им в последнем разделении. Бутыль за бутылью, кристаллизатор за кристаллизатором были вымыты, чтобы ни одна пылинка не загрязнила последнего продукта их разделения. Мария сама вымыла посуду. Она, всегда мывшая посуду, должна была первая увидеть несколько кристалликов соли ещё одного нового элемента — элемента радия, которому было суждено совершить грандиозный переворот в химических воззрениях. Это было концом долгой работы супругов Кюри в старом заброшенном сарае в Париже.

Пьер был назначен профессором физики в Сорбонне, а Марии было поручено читать лекции по физике в Высшей нормальной школе в Севре, близ Парижа. Она преподавала, училась сама работала в своей лаборатории и помогала отцу ухаживать за Ирэной. Ирэна подрастала. В свободные минуты Мария находила время шить ей платьица, сама стирала и гладила её вещи. Ей всё ещё приходилось экономить свои расходы. Пьер был превосходным мужем. Он помогал ей во всём.

Мария готовилась изучить все свойства удивительного нового элемента. Она намеревалась включить эту работу в свою тему на соискание степени доктора наук; как преподавательнице ей необходимо было получить эту степень. После пяти лет работы Мария представила свою диссертацию. В экзаменационную комиссию входили Анри Муассан, изобретатель знаменитой электрической печи, Габриэль Липманн, работавший по усовершенствованию цветной фотографии, и Бонти. Мария представила законченную работу о радиоактивности полония, радия, урана и сходных элементов. Она дала описание радия, элемента, в миллионы раз более активного, чем уран. Невероятно, но это действительно так! Профессора были поражены обилием оригинальных сведений, представленных этой женщиной. Они не знали, о чём её спрашивать. Перед ней эти выдающиеся учёные казались просто школьниками. Они единодушно постановили, что её работа является совершенно исключительным вкладом в науку, не имеющим прецедентов в истории науки.

Эта весть была предана гласности. Удивительный элемент был открыт женщиной. Его соли светились в темноте, как электрические шары. Они непрерывно выделяли теплоту, превышавшую в двести пятьдесят тысяч раз то количество теплоты, которое выделяется при сгорании равного веса угля. Было вычислено, что тонна радия может поддержать кипение тысячи тонн воды в течение целого года. Этот новый элемент был самым сильным ядом, известным человечеству, действовавшим даже на расстоянии. Трубочка, содержащая зёрнышко радия размером в булавочную головку и помещённая над спинным хребтом мыши, вызвала паралич через три часа: через семь часов у этого животного начинались конвульсии, а через пятнадцать часов оно умирало. Радий вызывает болезненные язвы на коже. Пьер знал это. Он добровольно подверг свою руку действию элемента. Кроме того, его пальцы были в язвах и почти парализованы радием. Беккерель жаловался Марии: «Я восхищаюсь радием, но и сержусь на него». Он получил ожог на животе, когда перевозил незначительное количество радия в жилетном кармане в Лондон, чтобы показать странный элемент в заседании Лондонского королевского общества. Радий стерилизовал семена, излечивал поверхностный рак и убивал микробов. Он вызывал свечение алмазов и стеклянных трубочек, в которых содержался. Он вызывал ионизацию воздуха вокруг себя, и лучи его проникали сквозь твёрдые тела.

Мир был поражён этими новостями. Раскрылась ещё одна тайна природы. Химики были потрясены. Женщина не только расширила границы химических познаний — она ещё и открыла новый мир, который ожидал своего исследования. Из всех лабораторий всего мира поступали запросы об этом волшебном камне. Воображение у всех воспламенилось, как ни при одном ещё открытии в истории науки. Пьер и Мария обрели мировую славу.

И вот началось паломничество к убежищу четы Кюри. Мир протоптал дорогу к дверям домика этих пионеров. Туристы наводняли лекционную комнату Марии. Журналисты и фотографы беспрерывно осаждали их. Рассказывали всякие истории об этой странной паре. Пьер — замкнутый, мечтательный, ненавидящий гласность философ, а Мария — мать с печальным лицом, которая шила, готовила обед и рассказывала сказки своей черноволосой маленькой девочке. Охотники за новостями нарушали уединение их дома, и дело дошло до того, что печатались разговоры между Ирэной и её маленькими друзьями, описывались чёрная и белая кошки, жившие у них. Описывался кабинет М. Кюри: «письменный стол, два довольно жёстких кресла, ещё два с соломенными сиденьями, пара книжных шкафов с стеклянными дверцами, через которые видны книги и бумаги, набросанные в полном беспорядке, железная печка в середине комнаты. Занавески, ковры и гардины отсутствуют, письма и телеграммы набросаны горой на столе».

Пьер и Мария жаловались: «В эти дни мы едва успевали дышать и думали, как хорошо было бы жить в мире, совсем лишённом людей!» Они стремились к тому, чтобы их оставили в покое, но тщетно! Письма, приглашения, телеграммы, посетители надоедали им и рассеивали их мысли. Мир устремился к Марии и Пьеру Кюри. Они должны, хотя бы на несколько часов, покинуть свою лабораторию. Известный английский учёный лорд Кельвин лично пригласил их приехать в Лондон получить медаль Дэви от Лондонского королевского общества. Это было только началом ещё больших почестей, от многих из которых супруги Кюри отказались. Они предпочли бы хорошо оборудованную лабораторию всем знакам отличия; таков был ответ Пьера, когда ему предложили ленточку Почётного Легиона. Через несколько месяцев им была присуждена Нобелевская премия, которую они разделили с Беккерелем, человеком, давшим им толчок для триумфального исследования. Полученные деньги они употребили на то, чтобы расплатиться с долгами, сделанными для выполнения своей работы. Супруги Кюри легко могли нажиться на своём открытии, но они работали не ради денег. Их работа преследовала научные цели, и они категорически отказались запатентовать своё открытие. Точно так же почти за сто лет до этого Гемфри Дэви было предложено взять патент на изобретённую им безопасную лампу для шахтёров; этот патент мог бы принести ему ежегодный доход в десять тысяч долларов. Но он отказался от патента: «Я достаточно обеспечен, — сказал он, — и могу удовлетворить все мои нужды. Увеличение моего богатства не принесёт мне ни большей славы, ни большего счастья».

Однако у четы Кюри дело обстояло совершенно иначе. Они всё ещё не были обеспечены в материальном отношении. И всё же они отказались от баснословных доходов. Весь радий, полученный ими из целых гор камней, они безвозмездно передали в больницы. Когда в феврале 1905 г. им вновь удалось выделить несколько крупинок новой соли, они переслали их в Венский госпиталь в знак благодарности за оказанную австрийским правительством помощь, выразившуюся в предоставлении им первой партии смоляной обманки.

Счастье Марии не знало границ. Ирэн была теперь прелестным ребёнком семи лет. Пьер не был больше таким печальным. Жизнь становилась для них легче. Затем родилась вторая дочь — Ева. Супруги Кюри были счастливы. Но скоро в их дом пробралась смерть. В послеобеденное время 19 апреля 1906 г. раздался стук в дверь их дома. Всего несколько минут назад Пьер разговаривал с профессором Перреном на заседании факультета. Он говорил об атомах и молекулах, о распаде вещества. Возвращаясь домой, Пьер проходил улицу Дофина, экипаж сшиб его с ног, а когда он упал, колёса тяжёлого фургона, ехавшего навстречу, проехали по его голове. Он мгновенно умер. Мария с самообладанием выслушала эту весть. Она не рвала на себе волосы и не ломала рук. Она даже не плакала. Она всё повторяла в забытьи: «Пьер умер, Пьер умер». Этот удар почти сломил её. Она молча горевала. Самые выдающиеся учёные разделяли её глубокое горе. Но через несколько недель она вернулась в лабораторию, более молчаливая, чем прежде. Она посвятила весь остаток своей последующей жизни работе в лаборатории памяти Пьера. Марии было предложено занять кафедру физики, вакантную со дня смерти её мужа. Это шло вразрез со всеми французскими обычаями. Ещё ни одна женщина не занимала места профессора в Сорбонне. Традиция была опрокинута. Но в кулуарах Парижского университета шёл приглушённый ропот. Люди с длинными бородами качали головой по этому поводу. Некоторые считали, что тем вдохновением, которым проникнуты были её работы о полонии и радии, Мария была обязана тому обстоятельству, что ею руководил и стимулировал к работе человек с глубоким воображением, которого к тому же она любила. Это, шептали они за закрытыми дверями, было единственной причиной успеха её творческой работы в прошлом. «Подождите, — говорили они, — несколько лет, и Мария сойдёт со сцены, как тень». Они не решались говорить громко, чтобы не ранить ещё глубже разбитое сердце М. Кюри. Открытой оппозиции не было. Волшебное слово «радий» заставляло молчать тех, что хотел бы кричать.

Было объявлено, что М. Кюри прочтёт лекцию в большой аудитории в Сорбонне. Это была её первая лекция. Мужчины и женщины самого разнообразного общественного положения собрались в Париж, чтобы послушать её: члены академии, государственные деятели, родовитая знать и великие знаменитости. Лорд

Кельвин, Рамзай и Оливер Лодж были среди её слушателей. Присутствовал также и президент французской республики с женой. Когда пробило три часа, женщина, одетая в чёрное, вошла через боковую дверь; блестящее собрание поднялось и стоя приветствовало её.

Она начала свою лекцию тихим, ясным, довольно музыкальным голосом. Она говорила по-французски лишь с лёгким польским акцентом. Аудитория ожидала, что она будет восхвалять работу своего предшественника. Она начала: «Если мы обратимся к тем успехам, которые достигнуты в развитии теории электричества...» Её слушатели были зачарованы. Ни слова о пережитой ею трагедии. Она продолжала последнюю лекцию Пьера о полонии с того места, где он её закончил. Когда она кончила, раздались такие аплодисменты, что зазвенело в ушах даже у тех сотен людей, кто стоял за дверьми из-за недостатка мест в аудитории...

Но всё ещё были и такие, кто продолжал перешёптываться о традициях, о вдохновении, о женщинах и о науке. Они продолжали сомневаться в личном величии Марии. Эти смутные слухи доходили и до неё, но она не обращала на них внимания.

Необходимо выделить элемент радий в чистом виде, не в соединении с другими элементами. Это была задача, поставленная ею самой себе. Дебьерн, друг детства Пьера, взялся ей помогать. Радий был упрямым элементом. Трудно было выделить его из хлористой соли. И этой соли было так мало! Мария безуспешно испробовала много различных методов выделения радия. Она жила в своей лаборатории. У неё никогда не было времени для посещения театра или концерта; она отказалась от всех общественных обязанностей. Её почти нигде нельзя было встретить. Наконец, в 1910 г. М. Кюри пропустила электрический ток через расплавленный хлористый радий. Она заметила химическое изменение на отрицательном ртутном электроде. Образовалась амальгама. Она умело собрала этот сплав и нагрела его в кварцевой трубке, наполненной азотом под уменьшённым давлением. Ртуть испарилась, и глазам Марии предстал, наконец, неуловимый радий — блестящие, белые шарики, тускневшие на воздухе. Это было завершением её триумфа. Она, впервые выделившая соли радия, первая же увидела этот элемент и в свободном состоянии.

Это была первая прекрасная работа, выполненная Марией без помощи Пьера. Перешёптывания умолкли навсегда. За эту работу Мария вторично была награждена Нобелевской премией. Единственная женщина, удостоенная такой выдающейся чести!

Марию Кюри убедили выставить свою кандидатуру в члены Парижской академии наук, куда Пьер был избран в 1905 г. Запрет для женщин опять был снят в этом собрании выдающихся учёных. Никогда женщины не избирались в это учреждение, ибо существовал «непреложный обычай» не избирать женщин в Академию. Учёные с ограниченным умом пришли в волнение. Начались горячие споры. Мария, конечно, оставалась в стороне.

23 января 1911 г. произошли выборы. М. Кюри была забаллотирована двумя голосами, а вместо неё был избран профессор Эдуард Бранли, изобретатель когерера для радиопередатчиков. Этот случай навсегда останется позорным пятном в истории Парижской академии и Франции. Летом 1913 г. М. Кюри поехала в Варшаву с целью основать в своём родном городе радиевый институт. В 1914 г., когда немецкие полчища надвигались на Париж, так что их можно было почти видеть из самой Сорбонны, эта мужественная женщина совершила секретную поездку в Бордо с маленьким свёртком, тщательно спрятанным в чемодане. В то время как крупнокалиберные орудия открывали начало битвы на Марне, а автомобили быстро мчались из Парижа с людьми в светлосиней военной форме, отвозя бойцов на фронт, эта женщина ехала из Парижа на юг. Она убегала не из страха перед немецкими штыками, но из боязни, что маленькая трубочка, которую она везла в своём чемодане, может попасть в руки врагов. Спрятав трубочку с радием в безопасное место в Бордо, Мария спешно возвратилась в Париж, чтобы посильно послужить стране, ставшей для неё второй родиной. Воздушные налёты её теперь не беспокоили, а также и опасность вторжения.

М. Кюри задумала большое предприятие. Она объявила набор молодых девушек для обучения пользоваться новым медицинским средством — радием. Сто пятьдесят девушек были приняты на курсы, и М. Кюри в течение восьми недель обучала их лечению радием. Ирэн, которой было в это время уже семнадцать лет и которая отказалась покинуть бомбардируемый Париж, была также среди этих добровольных учениц её матери. М. Кюри научилась управлять автомобилем и перевозила приборы для установки их в походных госпиталях.

И в то время как эта женщина, которой было тогда пятьдесят лет, переносила тяжёлые приборы, Ирэн работала в походном пункте близ Амьена, где старинный исторический собор сотрясался от непрерывной канонады немецкой артиллерии. Ирэн отправилась даже в Ипр, где хлор и иприт губили жизни несчастных отравленных солдат. Мать и дочь работали неутомимо. Когда наступающая германская армия была оттеснена, М. Кюри вернулась в Бордо, упаковала драгоценную трубочку с солями радия в свой чемодан и перевезла его обратно в Париж. В первый же год войны открылся Институт радия при Парижском университете. Кюри была назначена директором. В маленькой комнате в институте на улице Пьера Кюри, предназначенной для работы с X-лучами и для выделения радия, она лихорадочно работала в течение всей войны. Пока продолжалось избиение тысяч людей, Мария героически работала, чтобы спасти хотя бы немногих израненных и искалеченных.

В 1921 г. её спросили, что она хотела бы больше всего получить, и она тотчас же ответила: «Один грамм радия в собственное распоряжение». Эта женщина, подарившая человечеству радий, сама не имела его, хотя к этому времени мир обладал сто пятьюдесятью граммами радия.

М. Кюри умерла в 1934 г. Когда думаешь об этой женщине, обладавшей неукротимым стремлением к научному исследованию, и вспоминаешь, как её длинные пальцы любовно работали с добытой ею могущественной солью, то не знаешь, что является более величественным: её ли открытие, положившее начало новой эре в науке, или же благородство и самопожертвование её жизни, всецело поглощённой научными испытаниями.

(*«Химия в школе»,* 1939 г.)

М. Кюри

ОТКРЫТИЕ РАДИЯ

В 1897 г. Пьер Кюри был занят работой, касавшейся роста кристаллов. В сентябре родилась наша дочь Ирэн[1], и, поправившись, я снова стала работать в лаборатории с целью подготовки к докторской диссертации.

Наше внимание было привлечено любопытным явлением, открытым в 1896 г. Анри Беккерелем. Открытие Х-лучей Рентгеном волновало тогда умы, и многие физики искали, не испускают ли под действием света подобных лучей тела флуоресцирующие. Анри Беккерель изучал с этой точки зрения соли урана и, как это иногда случается, нашёл явление, отличное от того, какого он искал: самопроизвольное испускание солями урана лучей с особенными свойствами. Так была открыта радиоактивность. Изучение этого явления казалось нам весьма интересным, и я решила заняться работой на эту тему.

Надо было найти помещение, где бы можно было поставить эти опыты. Пьер Кюри получил от директора школы разрешение использовать мастерскую с окнами в нижнем этаже.

Чтобы расширить результаты, полученные Беккерелем, необходимо было употребить точный количественный метод. Наиболее удобным для измерения оказалась проводимость воздуха, вызываемая лучами урана.

Мои опыты показали, что излучение соединений урана можно точно измерить в определённых условиях и что это излучение есть свойство атомов элемента урана; интенсивность излучения пропорциональна количеству урана, заключённому в соединении, и не зависит ни от рода химического соединения, ни от внешних условий, каковы, например, освещение или температура.

Тогда я занялась изысканиями, не существует ли других элементов, обладающих тем же свойством, и с этой целью изучила все известные в то время элементы как в чистом виде, так и в соединениях. Я нашла, что среди этих тел только соединения тория испускают лучи, подобные лучам урана. Излучение тория обладает интенсивностью того же порядка, что и излучение урана, и тоже представляет собой атомное свойство элемента.

---

[1] *Ирэн Кюри* — теперь знаменитый физик, открывшая вместе со своим мужем Ф. Жолио явление искусственной радиоактивности. (*Состав.*)

С этого времени представилась необходимость найти новый термин для определения нового свойства материи, проявленного элементами ураном и торием. Я предложила для этого название «радиоактивность», которое сделалось общепринятым; радиоактивные элементы были названы радиоэлементами.

За время моего исследования я имела случай изучить не только простые соединения, соли и кислоты, но и большое число минералов. Некоторые из них оказались радиоактивными, а именно содержащие уран и торий, но их радиоактивность казалась ненормальной, так как она была гораздо сильнее, чем можно было предвидеть, судя по содержанию урана или тория.

Эта аномалия нас очень удивила; так как я была вполне уверена, что дело было не в экспериментальной ошибке, то необходимо было найти объяснение. Тогда я предположила, что минералы содержат в небольшом количестве вещество, гораздо более радиоактивное, чем уран или торий; это вещество не могло быть ни одним из известных уже элементов, так как все они были изучены; следовательно, это должен быть новый химический элемент.

Крайне интересно было возможно скорее подтвердить эту гипотезу. Живо заинтересованный этим вопросом, Пьер Кюри оставил свою работу над кристаллами — временно, как он думал, — и присоединился ко мне для исследования нового вещества.

Нами была избрана смоляная урановая руда минерала урана, который в чистом виде почти в 4 раза более радиоактивен, чем окись урана.

После того как состав минерала был определён достаточно точными химическими анализами, можно было ожидать найти там максимум 1% нового вещества. Продолжение нашей работы показало, что в смоляной урановой руде действительно существуют новые радиоэлементы, но их пропорция не достигает даже одной миллионной доли.

Метод, применённый нами, был новый метод химического исследования, основанный на радиоактивности. Он заключается в выделении веществ обычными средствами химического анализа и в измерении в подходящих условиях радиоактивности всех выделенных продуктов. Таким образом, можно было дать себе отчёт о химических свойствах искомого радиоактивного элемента; последний сосредоточивается во фракциях, которые становятся всё более радиоактивными по мере хода работы разделения. Мы вскоре узнали, что радиоактивность концентрировалась главным образом в двух различных химических фракциях, и мы принуждены были отметить в урановой смоляной руде присутствие по крайней мере двух новых радиоэлементов: полония и радия. Мы сделали сообщение о полонии в июле 1898 г., а о радии — в декабре того же года.

Несмотря на относительно быстрый ход работы, она была далеко не закончена. По нашему мнению, там, без сомнения, были новые элементы; но, чтобы заставить химиков признать это мнение, надо было выделить эти элементы. В наших наиболее радиоактивных продуктах (в несколько сотен раз более активных, чем уран) полоний и радий содержались всё ещё лишь в виде следов; полоний находился в смеси с висмутом, выделенным из смоляной урановой руды, а радий — в смеси с барием, из того же минерала. Мы уже знали, какими методами можно надеяться отделить полоний от висмута и радий от бария, но для этого отделения нужны были гораздо большие количества основного вещества, чем те, с которыми мы имели дело.

В этот период нашей работы нам очень вредил недостаток необходимых средств: помещения, денег и персонала. Смоляная урановая руда была дорогим минералом, и мы не могли купить достаточного количества. Главный источник этого минерала находился тогда в Сент-Иоахимстале (Богемия), где залегала руда, разрабатываемая австрийским правительством, в целях добычи из неё урана. По нашим предположениям, весь радий и часть полония должны были находиться в отбросах этого производства, которые в то время никак не утилизировались. Благодаря поддержке Венской академии наук нам удалось получить на выгодных условиях несколько тонн этих отбросов, и мы употребили их в качестве исходного материала. Для покрытия издержек исследования нам сначала пришлось употребить наши собственные средства, а потом мы получили несколько пособий и премий из-за границы.

Особенно важен был вопрос о помещении; мы не знали, где нам можно вести химическую переработку. Пришлось организовать её в заброшенном сарае, отделённом двором от мастерской, где находился наш электрометрический прибор. Это был барак из досок, с асфальтовым полом и стеклянной крышей, недостаточно защищавшей от дождя, без всяких приспособлений; в нём были только старые деревянные столы, чугунная печь, не дававшая достаточно тепла, и классная доска, которой так любил пользоваться Пьер Кюри. Там не было вытяжных шкафов для опытов с вредными газами, поэтому приходилось делать эти операции на дворе, когда позволяла погода, или же в помещении, при открытых окнах.

В этой «богатой» лаборатории мы работали почти без помощников два года, ведя сообща как химическую обработку, так и изучая излучение получаемых нами всё более и более радиоактивных продуктов. Потом пришлось разделить наш труд: Пьер Кюри продолжал исследование свойств радия, а я занялась химическими анализами с целью получения чистых солей радия. Я была принуждена обрабатывать сразу до 20 *кг* вещества, вследствие чего сарай был заставлен большими сосудами, наполненными осадками и жидкостями; это был изнурительный труд — переносить приёмники, переливать жидкости или перемешивать железным прутом целыми часами вещество в чугунном сосуде. Я выделяла из руды радионосный барий и подвергала его в виде хлорида фракционированной кристаллизации. Радий накоплялся в наименее растворимых фракциях, и этот процесс должен был привести к выделению чистого хлорида радия. Очень тонкие операции с последними кристаллизациями были значительно затруднены в такой плохо приспособленной лаборатории из-за железной и угольной пыли, от которой их нельзя было достаточно защитить.

Результаты, полученные через год, ясно показали, что легче отделить радий, чем полоний; поэтому в этом направлении и были сосредоточены все усилия. Полученные соли радия были подвергнуты исследованиям с целью изучения их действия. Пробы этих солей были даны нами многим учёным, в частности Анри Беккерелю.

Работы, сделанные в то время нами и некоторыми другими учёными, выясняли главным образом свойства лучей, испускаемых радием, и показывали, что эти лучи принадлежат к трём различным категориям. Радий испускает поток частиц, обладающих большими скоростями; некоторые из них имеют положительный заряд и образуют альфа-лучи; другие обладают отрицательным зарядом и образуют бета-лучи. Эти две группы при своём полёте отклоняются магнитом. Третья группа состоит из гамма-лучей, нечувствительных к действию магнита и, как теперь известно, являющихся излучением, сходным со светом и рентгеновскими лучами.

Мы особенно обрадовались при наблюдении, что наши содержащие радий соли все светились самопроизвольно. Пьер Кюри говорил, что эта неожиданная особенность дала ему большее удовлетворение, чем он мог мечтать.

В то время мы были всецело погружены в новую область, представшую перед нами благодаря неожиданному открытию. Несмотря на трудные условия работы, мы чувствовали себя очень счастливыми. Наши дни протекали в лаборатории, и нам случалось завтракать там просто, по-студенчески. В нашем бедном сарае царило большое спокойствие; иногда, наблюдая за какой-нибудь операцией, мы прогуливались взад и вперёд, разговаривая о настоящей и будущей работе; когда нам становилось холодно, мы подкреплялись чашкой горячего чая возле печи. Мы жили общей работой, как во сне.

Нам случалось возвращаться вечером после обеда, чтоб бросить взгляд на наши владения. Наши драгоценные продукты, для которых у нас не было хранилища, были разложены на столах и на досках; со всех сторон видны были их слабо светящиеся точки, казавшиеся висящими в темноте; они всегда вызывали у нас новое волнение и восхищение.

Начиная с 1899 г., Пьеру Кюри удалось организовать первую попытку промышленной добычи радия.

Хотя наша промышленная обработка дала хорошие результаты, но нам было трудно продолжать её с теми небольшими средствами, которыми мы располагали. Увлёкшись этим опытом, один французский промышленник, Армэ де Лиль, возымел в 1904 г. идею, которая могла показаться смелой для этой эпохи: основать настоящую фабрику для добычи радия и поставки этого вещества врачам; интерес последних к радию пробудился под влиянием работ (только что появившихся) о биологическом действии радия и его применениях в терапии. Проект был с успехом приведён в исполнение благодаря сотрудникам, уже подготовленным нами для этого тонкого производства. Таким образом, радий стал регулярно поступать в продажу, правда, по высоким ценам, из-за особых условий этой промышленности и сразу же повысившихся цен на исходное сырьё.

Таким путём имевшаяся у нас руда была постепенно использована для приготовления некоторого количества радия, который постепенно употреблялся для наших исследований. Радионосный барий извлекался на фабрике, а я занималась в лаборатории очисткой и фракционной кристаллизацией. В 1902 г. мне удалось приготовить дециграмм чистого хлорида радия, дававшего спектр одного лишь нового элемента — радия. Я сделала первое определение атомного веса радия. Таким образом, химическая индивидуальность радия была окончательно установлена, и реальность радиоэлементов сделалась безусловно доказанным фактом. Эта работа послужила мне темой для докторской диссертации, защищённой в 1903 г.

Позднее количество добытого радия было увеличено; в 1907 г. я уже могла сделать второе, более точное определение атомного веса (225,35); в настоящее время принимают атомный вес радия равным 225,97. Мне удалось также, вместе с А. Дебьерном, получить металлический радий. Общее количество радия, приготовленного и переданного мною в лабораторию, равняется свыше чем одному грамму радия-элемента.

Активность чистого радия превысила все наши ожидания. Это вещество испускает излучение более, чем в миллион раз интенсивнее того, что даёт равное весовое количество урана. С другой стороны, количества радия, содержащиеся в урановых минералах, не превышают трёх дециграммов радия на тонну урана. Между этими веществами существует тесная связь; теперь известно, что радий появляется в минералах за счёт урана.

(«Пьер Кюри»)

Ф. Содди

ОПЫТЫ С РАДИЕМ

Энергия излучения радия. Из того небольшого количества бромистого радия, которое некоторые химики, работая из любви к делу, успели извлечь из смоляной руды, к моему счастью, на мою долю пришлось около шестидесяти пяти миллиграммов. Половина этого количества, которой я буду пользоваться для большей части своих лекционных опытов, заключается в этой небольшой эбонитовой коробочке. Другая половина растворена в воде и находится не в этой аудитории, а в лаборатории на расстоянии километра отсюда. В тёмной комнате радий в коробочке едва ли будет виден вам, так как лучи его сами по себе не действуют на невооруженный глаз, но если я поднесу к нему несколько кристаллов флуоресцирующего вещества, платиново-синеродистого бария, то вы увидите, что эти кристаллы сейчас же начинают светиться прекрасным зелёным цветом. Очень удобен для этих опытов обычный флуоресцирующий экран для икс-лучей, который представляет собой просто кусок картона, покрытый тем же флуоресцирующим веществом (платиново-синеродистым барием) в виде порошка. Когда я помещаю тонкие листки металлической фольги между радием и кристаллами, то вы видите, что

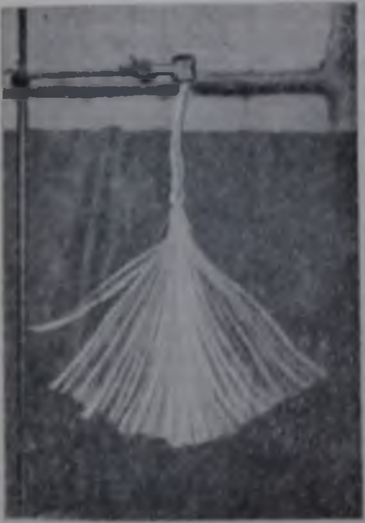


Рис. 147. Шёлковая кисть, заряжённая электричеством.

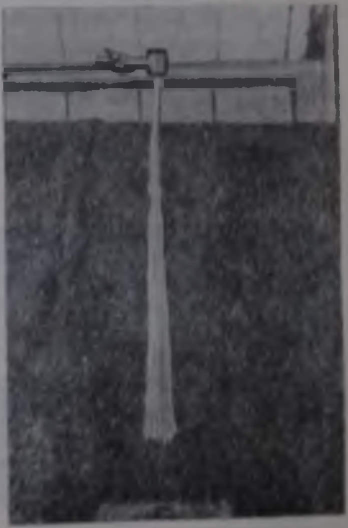


Рис. 148. Та же кисть, разряжённая радием.

их яркость уменьшается весьма мало; можно даже положить несколько серебряных полтинников один на другой, не задержав всё-таки всех лучей радия. Сидящие впереди видят, что кристаллы всё ещё слабо светятся, хотя лучи радия, прежде чем достигнуть кристалла, должны пройти слой твёрдого серебра больше сантиметра толщиной. С таким, сравнительно говоря, большим количеством радия очень просто и в резкой форме можно показать электрические проявления радиоактивности. Шёлковая кисть натирается каучуковой табакеркой и таким образом электризуется. Все её нити теперь отталкивают друг друга и, как вы видите, расходятся во все стороны (рис. 147). Но в ту же минуту, как я подношу к кисти радий, нити сейчас же опадают (рис. 148). Наконец, фотографическое действие этих лучей видно на фотографии (рис. 149); по фотографической пластинке, обёрнутой в чёрную бумагу, медленно водили, как карандашом, маленькой трубкой, содержащей небольшую долю грамма бромистого радия, а затем пластинку проявили, не выставляя на свет.

При помощи чувствительных термометров можно было бы также показать, что это небольшое количество радия всегда на несколько градусов теплее окружающего воздуха. Количество теплоты, испускаемой, например, вот этим незначительным количеством радия, само по себе, разумеется, крайне ничтожно, но в сравнении с количеством вещества, которым оно производится, оно поистине громадно. Точные опыты показали, что десять миллиграммов радия дают около одной калории в час.

Чистый бромистый радий состоит по весу приблизительно из двух третей элемента радия и одной трети элемента брома. Таким образом, тридцать миллиграммов бромистого радия дают около двух калорий в час. Этот образец в тридцать миллиграммов бромистого радия находится в моих руках уже четыре года, и выделение энергии из него шло непрерывно день и ночь с неизменной скоростью. Простой расчёт показывает, что за это время им было отдано около 70 000 калорий. Чтобы составить себе представление о том, что это значит, рассмотрим количество энергии, получаемой при горении угля. Уголь того же веса, что и этот бромистый радий, при полном сгорании дал бы только около 250 калорий, так что уже за время нахождения в моих руках этот радий дал энергии почти в триста раз больше, чем сколько можно было бы получить от такого же веса угля. Но уголь уже не уголь, когда он

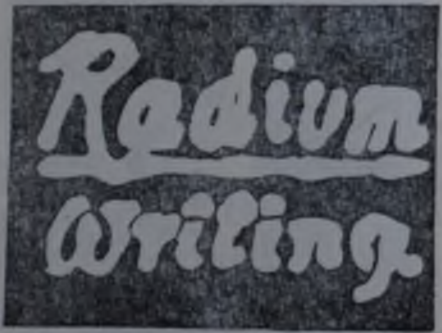


Рис. 149. Надпись на фотографической пластинке, слеланная с помощью радия.

сгорел и исчез. Пушечный порох и динамит, раз взорвавшись и отдав накопленную энергию, перестают быть порохом и динамитом, на их месте остаются несгорамые и невзрывчатые твёрдые тела и газы, из которых нельзя больше получить энергии. А вы видите, что этот радий сегодня так же активен, как был всегда. До сих пор самые тщательные измерения не могли открыть ни малейшего изменения радиоактивности радия с течением времени. Скорее она постоянно возрастает, быстро в первый месяц и медленно в течение нескольких первых лет после приготовления, в силу некоторых глубоких причин, которые мы рассмотрим ниже.

(*«Радий и его разгадка»,* 1910 г.)

Ф. Содди

СЧЁТ АЛЬФА-ЧАСТИЦ

Прежние физики, впервые при помощи точного вычисления определившие вес и размеры каждого индивидуального атома и высчитавшие, сколько биллионов атомов содержится в наименьшем количестве вещества, доступном нашим чувствам, в ответ на серьёзный вопрос о том, возможно ли будет когда-нибудь наблюдать отдельный атом вещества, только рассердились бы. «Отдельный атом вещества! Отдельный атом вещества!» Помню, как восклицал таким образом несколько раз, всё с разными интонациями, известный гость-иностранец, потративший годы своей жизни за микроскопом, на рубеже между воспринимаемым и невоспринимаемым миром, когда рассматриваемый нами вопрос обсуждался на собрании Британской Ассоциации. Однако сделаем несколько расчётов относительно того, нельзя ли надеяться, что мы сможем заметить, например, действие отдельной альфа-частицы, выброшенной радием, как в астрономии оказалось возможным открыть отдельные звёзды, составляющие туманность.

Наименьшее количество радия, какое можно открыть при помощи электроскопа с золотыми листочками, т. е. при помощи испускаемых альфа-лучей, составляет одну пятьдесят-тысяч-миллионную долю грамма. Одна тридцатая грамма испускает несколько тысяч миллионов частиц в секунду. Таким образом, наименьшее количество радия, обнаруживаемое обыкновенным электроскопом, должно испускать только несколько отдельных альфа-частиц в секунду. Уже очень давно Резерфорду казалось, что возможно на опыте обнаружить прерывность в испускании альфа-лучей, пользуясь ничтожным количеством радия.

Эта задача в действительности была решена почти неожиданно сэром Виллиамом Круксом при помощи прибора, который он придумал и назвал спинтарископом. Этот прибор является единственным настоящим прибором, в котором работает радий. Объяснение этой кажущейся странности нужно искать в том обстоятельстве, что по существу искомого результата здесь надо было взять наименьшее возможное количество радия. Это необычайное условие позволяет сделать бесчисленное множество спинтарископов из почти невидимого количества бромистого радия. Количество радия в каждом приборе абсолютно невесомо и невидимо. Иголкой *А* касаются маленького сосуда, в котором когда-то содержался радий, и затем помещают её (рис. 150—151) в середине небольшой медной трубки, величиною с небольшую катушку от ниток, на дне которой находится фосфоресцирующий экран, покрытый сернистым цинком. На другом конце трубки находится линза для увеличения экрана, а при помощи небольшого винта, выходящего наружу, конец иголки можно слегка приближать к экрану или удалять от него. Если теперь смотреть в тёмной комнате на экран сквозь линзу, то он окажется светящимся, и светящееся пятно можно сузить или расширить, приблизив при помощи винта иголку к экрану или удалив от него. Когда глаз привыкнет к темноте, то он заметит, что свечение это не представляет собой спокойного сплошного сияния. Свет, подобно свету туманности, обнаружил прерывность. Он очень похож на дождь падающих звёзд. В поле зрения появляются и исчезают мерцания — мгновенные вспышки света, слишком многочисленные, чтобы их можно было счесть. Эти вспышки производятся альфа-частицами радия. Ничтожные, незаметные следы радия прямо брызжут альфа-частицами. Кажется невероятным, что непрерывная бомбардировка экрана может быть вызвана таким бесконечно малым количеством радия. Однако это так, и если посмотреть в прибор спустя месяц, то окажется, что мерцания так же многочисленны и так же ярки, как и раньше. Спустя несколько времени, может быть год, сам фосфоресцирующий экран испортится от непрерывной бомбардировки, станет нечувствительным и потребует замены. Но замените его новым, и радий окажется таким же энергичным, как и раньше. Отойдёт в вечность владелец прибора, его наследники и преемники и даже его род, вероятно, будет забыт, а радий всё ещё не покажет заметных признаков истощения.

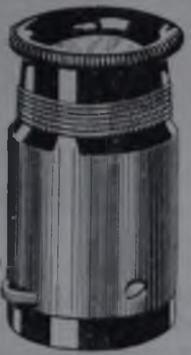


Рис. 150. Внешний вид спинтарископа.

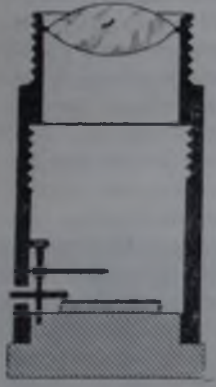


Рис. 151. Спинтарископ (схема его устройства).

Сама альфа-частица, разумеется, должна быть чрезвычайно мала. Иначе, каким бы образом ничтожные следы радия могли испускать такой непрерывный и обильный поток их? Как мы покажем ниже, эта альфа-частица есть атом гелия, второй по лёгкости из известных нам атомов вещества. Тридцать миллиграммов бромистого радия выбрасывают каждую секунду около десяти тысяч миллионов альфа-частиц, и, приняв во внимание, что такой могучий поток, выбрасываемый каждую секунду, продолжается много столетий, мы начинаем понимать, как много атомов должно заключаться в одном миллиграмме вещества и как незначителен должен быть отдельный атом. Естествоиспытатели всего десять лет назад осмеяли бы надежду, что мы когда-нибудь сможем увидеть в увеличительное стекло действие отдельного атома вещества, а между тем каждое мерцание в спинтарископе и представляет собой именно это.

Прежде спинтарископ был единственным, ныне же он является одним из многих свидетельств, установивших раздельный характер альфа-излучения и природу альфа-частиц.

В связи с этим я могу упомянуть о поистине замечательных работах, произведённых профессором Резерфордом и его сотрудником Гейгером, в которых им на самом деле удалось непосредственно сосчитать число альфа-частиц, выбрасываемых каждую секунду данным количеством радия. Как вы, может быть, знаете, если соединить два острия с электрической машиной или с другим прибором, дающим напряжение, то между ними при подходящих условиях будет проскакивать искра. Предположите теперь, что расстояние между этими двумя точками как раз такой величины, что при данном электрическом напряжении искра уже перестала проскакивать и что затем к этим остриям подносится кусочек радия. Теперь искра снова проскакивает. Лучи, испускаемые радием, облегчают прохождение искры, делая воздух проводником электричества, так что при их действии разряд будет проникать через большее пространство, чем без них. Замените грубый способ обнаруживать разряд по проскакиванию искры в высшей степени совершенным электрическим прибором, известным под именем электрометра, где, как в гальванометре, получается зайчик от зеркальца, скреплённого со стрелкой, которая при прохождении разряда через разрыв может двигаться, — и перед вами будет существенная основа установки Резерфорда. Такого рода приспособление можно сделать столь чувствительным, что достаточно прохождения отдельной альфа-частицы радия через то, что соответствует «искровому разрыву» первого описанного прибора, чтобы заставить зайчик стрелки электрометра двинуться резким скачком. Опыт состоит здесь в счёте числа этих резких скачков стрелки электрометра за данный промежуток времени, когда известное количество радия помещено на известном расстоянии. Радий нужно помещать на расстоянии нескольких метров от прибора, причём альфа-лучи несутся по длинной выкачанной трубке с маленьким окошечком на конце, пропускающим лишь весьма незначительную, но определённую часть всего числа частиц, которую можно вычислить. В опытах, о которых идёт речь, расстояние радия и размеры окошечка, сквозь которое проходили альфа-частицы, были таковы, что в прибор попадала приблизительно лишь одна из каждых 100 миллионов выброшенных частиц. Общее число частиц, действительно выбрасываемых одним миллиграммом радия в секунду при нормальных условиях, оказалось около 150 миллионов, точнее 136 миллионов частиц. Эти результаты были также проверены счётом числа вспышек в секунду в спинтарископе особой формы.

Всегда существовали учёные, которые смотрели на атом и на атомистическую теорию с некоторым подозрением и никогда не переставали настаивать на её «гипотетическом» характере. Поэтому с полным правом можно считать одним из величайших триумфов науки, что наблюдатель может теперь сидеть перед сосудом с часами в руках, считая число атомов, входящих в этот сосуд каждую минуту от радия, помещённого извне.

Альфа-частица представляет собой заряжённый вещественный атом. Сперва думали, что она вдвое тяжелее атома водорода, предполагая, что она заряжена только одним «атомом» положительного электричества. Однако потом было доказано, что она представляет собой атом в четыре раза тяжелее водородного. Это согласуется со всеми без исключения остальными фактами радиоактивных изменений, которые неизбежно, хотя и косвенно, приводят к заключению, что альфа-частица есть атом элемента гелия. Атомный вес гелия равен четырём — это означает, что атом гелия обладает вчетверо большей массой, чем атом водорода, который принимается за единицу.

Альфа-лучи радиоактивных веществ представляют, без сомнения, одно из самых поразительных явлений, известных в настоящее время. Если бы радий излучал только альфа-частицы, то и этого одного было бы достаточно, чтобы отметить новую эпоху в нашем познании природы. Возьмите, например, их скорость, которая в некоторых случаях достигает весьма внушительной цифры — свыше 20 000 *км* в секунду. Эта скорость в сотни раз превышает наибольшую скорость всякого известного нам материального предмета, будет ли он двигаться по земле, по воздуху или в пространстве. Наиболее быстрым движением, известным прежде, было движение некоторых падающих звёзд, иногда достигающих скоростей от 30 до 70 *км* в секунду. От падения этих тел мы основательно защищены тем, что при своей колоссальной скорости они, благодаря только сопротивлению воздуха, быстро рассеиваются в виде пара. И вот, пока такая падающая звезда прошла бы расстояние до Луны, альфа-частица успела бы достичь Солнца, если бы путь был свободен.

Эта скорость, умноженная сама на себя или взятая в квадрате, даёт нам меру той энергии, которою обладают альфа-частицы.

Если их скорость будет, например, в 500 раз больше всякой известной ранее, то кинетическая энергия, которою они обладают, при той же массе будет в четверть миллиона раз больше, чем та, с какой мы могли иметь дело до сих пор. В этом факте лежит ключ к объяснению многих удивительных свойств радия. Когда мы говорим, что мы можем открыть действие одной только альфа-частицы, а значит, одного атома вещества, то мы имеем в виду обнаружение его энергии, которая в четверть миллиона раз больше энергии всякого другого атома, нам известного. Аналогично, когда мы говорим о том, что в несколько секунд при помощи радиоактивных методов мы можем открыть такое изменение, которое должно было бы длиться в течение целых геологических эпох, прежде чем получилось бы что-либо заметное для самых чувствительных наших химических методов, то это, во-первых, потому, что мы обнаруживаем энергию, производимую этим изменением, а не самое изменение, а, во-вторых, потому, что эта энергия в одно и то же время и относительно громадна и гораздо легче открывается, чем всякое другое проявление энергии, известное нам раньше.

Вещество, движущееся со скоростью 17 000 *км* в секунду, так ново и так странно для нас в настоящее время, что вряд ли наши обычные представления могут служить здесь руководством или аналогией. Скорость снаряда в жерле орудия, например, составляет небольшую долю километра в секунду.

(*«Радий и его разгадка»*, 1910 г.)

Ф. Содди

ЭМАНАЦИЯ РАДИЯ

Если растворить образец бромистого радия в воде и полученную жидкость выпарить досуха, чтобы снова получить твёрдую составную часть, то в результате этой чрезвычайно простой операции окажется, что при этом процессе радий потерял большую часть своей радиоактивности. Бета- и гамма-лучи совершенно исчезнут, а альфа-лучи будут в четыре раза слабее первоначальных. Затем произойдёт странная вещь. Предоставленный самому себе радий мало-помалу, день за днём, самопроизвольно восстановит свою потерянную активность и по истечении месяца будет почти не слабее, чем был с самого начала.

Это, повидимому, прямо противоречит сделанному раньше утверждению, что на радиоактивность радия нельзя повлиять никакими известными нам способами, но это лишь кажущееся противоречие. Внимательно изучив этот процесс, мы найдём, что при растворении радия в воде «что-то» уходит из него в воздух и это «что-то» обладает чрезвычайно большой радиоактивностью.

В воздухе оно рассеивается, но в закрытом сосуде, если он закрыт герметически, остаётся. Короче говоря, это «что-то» есть новый газ, в весьма высокой степени обладающий свойством радиоактивности.

Большей частью наших сведений об этом новом радиоактивном газе мы обязаны профессору Резерфорду, который дал ему особое название. Он назвал его эманацией радия, или, короче, просто эманацией[1].

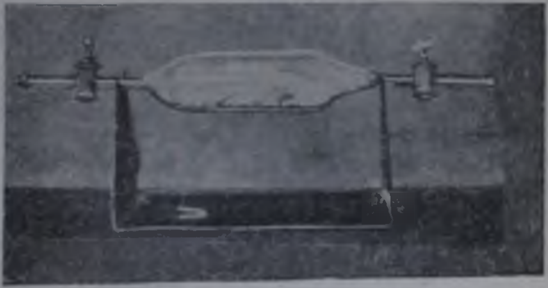


Рис. 152. Трубка с минералом виллемитом.

В лаборатории, на расстоянии километра от этой аудитории, у меня есть ещё около одной тридцатой доли грамма чистого бромистого радия, который был растворён в воде. Этот раствор сохраняется в сосуде. Сегодня утром я извлёк из этого сосуда эманацию и привёз её сюда, чтобы показать вам. Радия, из которого она была получена, нет в этой комнате, он попрежнему находится в лаборатории на расстоянии километра отсюда. Эманация, сме-

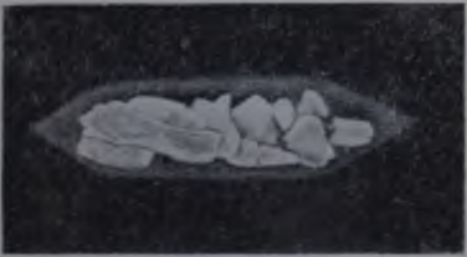


Рис. 153. Снимок с трубки, снятой с помощью её собственных лучей.

---

[1] Этот газ теперь называют также радоном или нитоном. *(Состав.)*

шанная с воздухом, находится в небольшой стеклянной трубке (рис. 152), снабжённой кранами для того, чтобы можно было впускать в неё эманацию и выпускать её оттуда, а внутри этой трубки находится несколько кусочков минерала виллемита, силиката цинка. Этот минерал имеет вид обыкновенного зеленовато-серого камешка, ничем не отличающегося от многих простых камней на дороге или на морском берегу. Под действием лучей Рентгена и лучей радия он, однако, обладает способностью флуоресцировать ярким зеленоватым светом, как вы видите, когда я в темноте подношу к нему коробочку с несколькими миллиграммами твёрдого бромистого радия. Теперь исследуем в темноте трубку, содержащую эманацию и виллемит вместе. Мы находим, что виллемит сияет замечательным светом. Сияние виллемита ясно видно даже при свете обыкновенной лампы или при слабом дневном свете. Рисунок 153 показывает эту трубку, которая была помещена в тёмной комнате перед камерой; как вы можете видеть, куски светящегося виллемита сфотографировали себя своим собственным светом. Фотография не даёт представления о красоте трубки в натуре. Виллемит, светящийся в эманации радия, представляет одну из самых красивых картин, какие я знаю, и если припомнить происхождение этого света и всё, что обещает это явление человечеству в будущем, то эта картина возбуждает чувства, верно выразить которые мог бы только поэт.

Что же такое эманация радия? Сегодня вечером я буду рассматривать этот вопрос только так, как будто бы эманация представляла собой вещество, не имеющее никакой связи с радием; необходимо познакомиться с её собственной природой, прежде чем определять её действительное отношение к радию. Важнее всего то, что эманация отличается чрезвычайной радиоактивностью, составляющей её собственное достояние, иначе говоря, она испускает лучи нового рода, по характеру весьма сходные с лучами, испускаемыми другими радиоактивными веществами, и способные производить такие же действия. То, что я сейчас скажу, относится только к такой трубке, в которой эманация радия содержалась несколько часов. Сначала эманация испускает только альфа-лучи, но не бета- или гамма-лучи.

Характерным для эманации является то, что она не представляет собой твёрдого вещества вроде частиц дыма в воздухе. Она есть настоящий газ. Это было доказано бесчисленным множеством опытов; но я хочу показать вам только один, особенно красивый, который, мне кажется, убедит всякого, раз видевшего его, что эманация радия есть действительно газ, обладающий свойством радиоактивности. Этот опыт впервые был сделан профессором Резерфордом и мною в Монтреале в ноябре 1902 г.

Если эманация есть газ, то должна существовать температура, хотя, быть может, и весьма низкая, при которой она теряет свою газообразную форму и превращается в жидкое или твёрдое тело. Все наши попытки произвести такого рода конденсацию при температурах вплоть до —100° С оказались тщетными, а у нас не было средств получить те чрезвычайно низкие температуры, которые в современной лаборатории употребляются теперь ежедневно. Но вскоре мы приобрели машину для сжижения воздуха и, как только её пустили в ход, эманация с успехом была конденсирована. Точные опыты показали, что эманация конденсируется весьма резко, когда температура падает ниже —150° С, и улетучивается и снова принимает газообразную форму опять также совершенно сразу, когда температура поднимается выше этого.

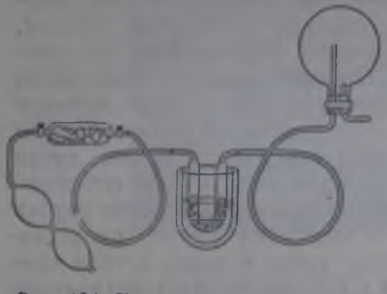


Рис. 154. Прибор для демонстрации сжижения эманации радия.

Мы произведём этот опыт в следующей форме (рис. 154). К одному из отверстий сосуда, содержащего эманацию, прикреплён каучуковый баллон, при помощи которого эманацию можно выдувать. Другое отверстие соединяется со стеклянной трубкой, содержащей несколько кусочков виллемита, погружённый в сосуд с жидким воздухом и таким образом поддерживаемой при весьма низкой температуре — около 180° С, в которую и выдувается эманация. Под действием этого чрезвычайного холода эманация мгновенно теряет свою газообразную форму и конденсируется в этой трубке. Чтобы сделать опыт ещё более ярким, между трубкой с эманацией и охлаждённой *U*-образной трубкой я включил несколько метров узких трубок, сквозь которые должна проходить эманация, прежде чем достигнуть той трубки, в которой она конденсируется. Как вы видите, когда я открываю краны и слегка вдуваю воздух, чтобы перегнать эманацию в холодную *U*-образную трубку, виллемит в холодной трубке сразу ярко загорается в том месте, где эманация конденсируется.

Пока *U*-образная трубка находится в жидком воздухе, эманация остаётся в ней, хотя я продолжаю слегка продувать воздух из баллона. Но спустя несколько мгновений после того, как трубка будет вынута из жидкого воздуха, она нагреется до той температуры (—150° С), при которой эманация снова принимает газообразную форму, и теперь мы можем выдуть её одним нажимом баллона. Сейчас я выдуваю её сквозь узкую трубку, которую присоединил к *U*-образной трубке, в большую колбу, покрытую внутри фосфоресцирующим сернистым цинком. В темноте этот шар светит теперь мягким белым светом, как какой-то волшебный фонарь, и при его свете я могу видеть стрелки своих часов.

После этого опыта вам будет несколько трудно поверить, что действительное количество газообразной эманации, произведшее эти красивые эффекты, было почти бесконечно мало. Пользуясь тем же самым свойством — конденсацией при помощи жидкого воздуха, — сэр Виллиам Рамзай и я измерили действительный объём, занимаемый эманацией радия, освобождённой от всех других газов путём охлаждения. Представьте себе пузырёк воздуха с добрую булавочную головку, приблизительно в один кубический миллиметр. Чтобы наполнить пузырёк такого объёма, эманации понадобилось бы в тридцать раз больше, чем действительно было употреблено при последнем опыте. Разумеется, в наших исследованиях для удобства манипуляций это небольшое количество эманации было смешано с значительным объёмом воздуха.

Эманация, которою мы пользовались в наших опытах, была смешана с обыкновеным воздухом, и, таким образом, с ней можно было обращаться, как и со всяким другим газом. Мы продували её сквозь трубки с одного конца лекционного стола до другого. Если бы это был обыкновенный газ, подобный воздуху, никто не мог бы видеть его или знать, что с ним сталось. Но так как эманация чрезвычайно радиоактивна, то хотя действительное количество её почти невообразимо мало, её радиоактивность служит достаточным показателем её присутствия или отсутствия, позволяя работать с нею или исследовать её даже гораздо легче, чем обыкновенный газ в обычном количестве. Если бы горный инженер хотел знать, как распределяется между отдельными шахтами и штольнями воздух, нагнетаемый в его рудник, то у него не было бы лучшего средства, как прибавить незначительное количество эманации радия в нагнетаемый воздух и затем последовательно брать пробы в различных местах рудника, испытывая их на содержание эманации радия посредством электроскопа с золотыми листочками. При помощи этого нового газа могут быть без труда решены и многие другие практические задачи относительно токов газов, решать которые обычными методами трудно.

Оказалось возможным даже установить химическую природу этого нового газа и указать ему место в родственной ему группе периодической системы элементов. Почти все газы, соответственно их различной природе, поглощаются различными химическими реактивами. Так, кислород поглощается фосфором, водород — нагретой окисью меди, азот — нагретым магнием и т. д. Исключением, т. е. газами, которых не поглощают никакие реактивы и которые ни с чем не соединяются, являются недавно открытые Рэлеем и Рамзаем газы аргон, гелий, неон и др., существующие в атмосферном воздухе. Количество этих газов в воздухе незначительно, за единственным исключением аргона, который имеется в атмосфере в размере одного процента. Эманация радия, подобно аргону, не поглощается никаким известным реактивом и, повидимому, совершенно не обладает способностью к химическим соединениям. Она может без изменения проходить сквозь поглощающие вещества, и её можно подвергать энергичной химической обработке, которой было бы достаточно для поглощения всех из-

Виллиам Рамзай *(1852—1916)*.

вестных газов за исключением газов типа аргона. Поэтому мы говорим, что эманация представляет элемент, по своим свойствам родственный газам группы аргона. С другой стороны, радий по своей химической природе чрезвычайно сходен с барием, стронцием и кальцием — группой, известной под именем щёлочно-земельных элементов. Никакой другой элемент группы аргона или щёлочно-земельной не обладает радиоактивностью, и, однако, радиоактивные элементы совершенно нормальны по своим химическим свойствам, весьма походя на обыкновенные элементы и соединяясь самым очевидным и тесным образом с тем или другим, давно и хорошо известным типом или группой. Совсем недавно при помощи количеств радия, приблизительно в пятнадцать раз бóльших, чем то, которым мы пользовались сегодня вечером в наших опытах, удалось получить количество эманации, достаточное для фотографирования её спектра. Получился новый характерный спектр со светлыми линиями, в общем напоминающий спектр других газов группы аргона.

Наконец, оказалось возможным получить некоторое представление и о плотности эманации радия, а значит, и о весе её атома, именно на основании опытов над скоростью её диффузии из одного места в другое. Эти опыты показывают, что этот газ чрезвычайно плотен — вероятно, он плотнее паров ртути — и что, следовательно, он имеет весьма тяжёлый атом. Хотя имеющиеся у нас свидетельства ещё не вполне доказательны и лишь косвенны, однако весьма вероятно, что атомный вес эманации на четыре единицы меньше веса радия.

Как мы видели, теплота, выделяемая граммом радия, составляет сто калорий в час; нужно, однако, иметь в виду, что это число относится к радию в его нормальном состоянии, содержащему полный запас эманации. После растворения в воде, т. е. после извлечения эманации, радий испускает теплоту в размере только двадцати пяти калорий в час, тогда как эманация даёт семьдесят пять калорий в час. Другими словами, эманация радия отдаёт втрое больше энергии, чем сам радий, из которого она получена, хотя действительное количество этого вещества само по себе совершенно неощутимо.

Теперь, может быть, будет легче понять, почему ничтожность количеств вещества не является препятствием при исследовании радиоактивности. Во внимание должна приниматься не только масса. Весьма небольшой пули, несмотря на её малость, достаточно, чтобы произвести страшное разрушение благодаря той кинетической энергии, с которой она была выброшена. Небольшой мины, которая начинена накопленною энергией в виде взрывчатых веществ, достаточно, чтобы потопить громадный броненосец. Количество эманации, которое, несомненно, не весит и одной полуторамиллионной доли грамма, производит столько энергии, что получаются действия, видимые всем вам даже на противоположном конце комнаты.

Если бы вместо тридцатой доли булавочной головки мы могли получить литр этого газа, — а для получения такого количества понадобилась бы полутонна чистого радия, — то он излучал бы энергию сотни могучих дуговых ламп. И даже, как указал Резерфорд, никакой сосуд не мог бы удержать её. Такое количество эманации мгновенно расплавило бы и рассеяло в виде паров всякое известное нам вещество.

Радиоактивность эманации быстро уничтожается с каждым днём. Спустя четыре дня активность будет составлять только половину того, чему она равна сегодня. В восемь дней активность сведётся к одной четвёртой, в двенадцать — к одной восьмой, в шестнадцать дней — к одной шестнадцатой и т. д., с течением времени уменьшаясь в убывающей геометрической прогрессии, и к концу месяца она практически сойдёт на нет.

Свет флуоресцирующего виллемита в этой трубке, если её предоставить самой себе, будет постепенно слабеть и к концу месяца почти окончательно исчезнет. Как ни огромен запас энергии в веществе, освобождаемый в радиоактивных процессах, он всё же не бесконечен, и в эманации радия мы имеем пример столь быстрого изменения, что для его завершения необходимо всего несколько недель.

Когда в науке начинают появляться со всех сторон загадки, объяснение часто бывает уже близко. Мы растворили соединение радия в воде, и большая часть его активности при этом процессе исчезла. Затем мало-помалу потерянная активность самопроизвольно возвращается, и к концу месяца радий не кажется менее активным, чем был сначала. Исчезновение большей части активности после растворения мы объяснили тем, что при растворении освобождается чрезвычайно радиоактивный газ, эманация, и что она уносит с собой всю радиоактивность, которую потерял радий. Но вот, пока радий медленно возвращал свою первоначальную радиоактивность, эманация постепенно теряла то, чем она обладала сначала. Количественное исследование этих двух процессов уничтожения и возрождения сейчас же показало, что их суммарная радиоактивность не изменилась и несмотря на всё, чему подвергался радий, осталась постоянной. Это является основным законом, приложимым ко всем радиоактивным телам; его назвали законом сохранения радиоактивности. Что бы вы ни делали с радиоактивным веществом, вы всё-таки не можете искусственно изменить общую сумму его радиоактивности, хотя вы часто можете, как в настоящем примере, разделить её на части.

Довольно легко объяснить сравнительно быстрое уничтожение активности эманации радия. Она так быстро рассеивает свой внутренний запас энергии, что он должен скоро истощиться. Вот замечательный образец короткой, но весёлой жизни! Но как же объяснить постепенное возрождение радиоактивности радия с течением времени?

Представьте себе, что прошёл месяц и что радий, который теперь полностью вернул свою потерянную активность, снова растворяется в воде и выпаривается досуха совершенно так, как и раньше. Опять вы найдёте, что в этом процессе радий потерял такую же, как и прежде, значительную часть своей радиоактивности, и снова вы получите из него новое количество эманации, ничуть не меньшее того, которое находится теперь здесь на столе. Повторяйте этот опыт сколько угодно раз, и вы всегда получите один и тот же результат. В то время как эманация, отделяемая нами от радия, уничтожается с каждым днём, новое количество её самопроизвольно вырабатывается радием. На самом деле изменение радия в эманацию есть только первое из длинного ряда последовательных изменений подобного рода. Газообразная эманация, в свою очередь, быстро переходит в третье вещество, негазообразное, называемое радием А; это, в свою очередь, — в четвёртое, называемое радием В, и т. д. В настоящее время известны девять таких последовательных превращений.

Это объяснение радиоактивности, ставшее известным под именем теории атомного распада, было предложено профессором Резерфордом и мною как результат длинного ряда экспериментальных исследований, произведённых в Макдональдовой физической и химической лабораториях университета Макгилля в Монтреале. С тех пор оно оказалось в состоянии не только разъяснить все известные, очень сложные факты радиоактивности, но также и предсказать и объяснить много новых. Хотя на первый взгляд это кажется революционным добавлением к теории физики, но нужно помнить, что действительно революционными являются сами факты радиоактивности. Именно приводя в гармонию эти странные новые факты, теория распада действительно замечательным образом сохраняет установленные раньше принципы физики.

(*«Радий и его разгадки»*, 1910)

У. Брэгг

СТРОЕНИЕ АТОМА

Явления радиоактивности показали нам, что может сделать отдельный атом, если ему сообщить чудовищную скорость.

По своим размерам и массе атом радия является одним из наиболее тяжёлых и крупных атомов. Совокупность таких атомов образует металлическое вещество, подобное железу или золоту. Сам по себе атом радия не имеет никаких особенных свойств, пока он остаётся самим собой, но внезапно, по неизвестной никому причине, наступает момент, когда атом радия взрывается. Маленькая часть его выбрасывается вон, как снаряд из орудия, остальная же часть атома отскакивает, как орудие при отдаче. Этот остаток уже не представляет собой радия, это — меньший атом с совершенно иными свойствами. Радий превратился в новое вещество. Это новое вещество оказывается газом, а «снаряд» — атомом вещества, атомный вес которого один из самых низких в ряду атомных весов (второй по порядку); он называется гелием.

Я хотел бы обратить внимание на то, что происходит со снарядом, покидающим орудие.

Скорость, с которой этот снаряд вылетает, так велика, что ещё недавно считали невозможным, чтобы частица материи обладала такой большой скоростью.

Скорость, с которой атом гелия начинает свой полёт, равна примерно 16 000 *км* в секунду. В течение промежутка времени меньше минуты он мог бы достичь Луны и вернуться обратно, если бы скорость его не уменьшалась; но в действительности, несмотря на всю его начальную скорость и энергию, такой атом никогда не может залететь далеко, если он должен пройти через какую-либо материальную среду. Даже в том случае, когда путь его заканчивается в воздухе, скорость его падает до самой обычной величины после того как он пройдёт путь в пять-семь сантиметров. Путь этот обычно строго прямой, как мы увидим это на опыте. Это обстоятельство имеет существенное значение и на него следует обратить большое внимание.

На первый взгляд даже не видно, почему так важно, что путь нашего атома гелия прямой: можно подумать о пуле, простреливающей цилиндрическое отверстие в куске дерева, или же о пуле, пролетающей по прямой в воздухе. Но сравнение такое неверно. Пуля представляет массу из свинца, неизмеримо более тяжёлую, чем встречные молекулы воздуха, которые она поэтому просто отбрасывает в стороны. Но атом гелия меньше и легче молекул азота и кислорода, из которых состоит воздух; поэтому нужно искать более подходящую аналогию.

Пусть на биллиарде лежит некоторое количество шаров, которые изображают молекулы воздуха. Картина была бы точнее, если бы шары двигались, но это не играет особой роли. Теперь пустим через наш биллиард шар, целясь в подушку на противоположной стороне; посмотрим, что произойдёт, когда пущенный нами шар будет пытаться пройти через кучу шаров на биллиарде. Наталкиваясь на один из шаров, наш шар отскочит в сторону; после ряда последовательных столкновений шар наш потеряет всякие следы своего первоначального направления. Если попробовать пустить шар со всей возможной силой, то всё же он не сохранит своего первоначального прямого направления

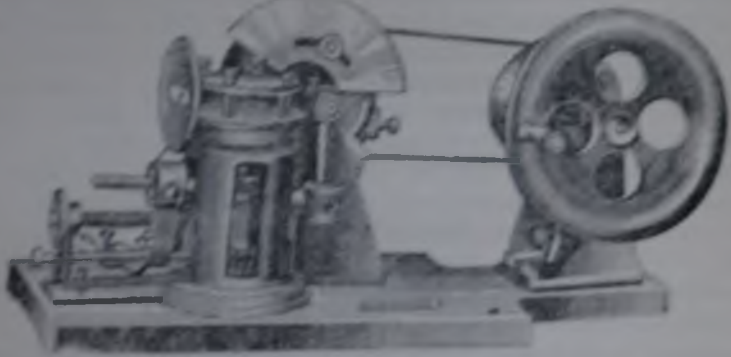


Рис. 155. Прибор для демонстрации путей ядер гелия, выброшенных радием (камера Вильсона).

даже приблизительно. Какова бы ни была величина начальной скорости, всё равно прямолинейный путь не может осуществиться.

Эта картина или модель гораздо более соответствует действительным условиям полёта атома гелия, чем картина летящей пули. Атом гелия встречает на своём прямолинейном пути колоссальное количество молекул воздуха, которые расположены гораздо гуще, чем можно изобразить шарами на биллиарде. Можно рассчитать, сколько молекул воздуха (кислорода и азота) было бы пронизано прямой линией в семь сантиметров длиной, проведённой внезапно в воздухе; результат выразился бы сотнями тысяч.

Как может атом гелия проскочить по прямой линии через это множество атомов, каждый из которых тяжелее атома гелия? Однако это так, и нам нужно найти какое-либо объяснение этому факту.

Можно было бы, пожалуй, думать, что прямолинейность пути только кажущаяся, что если бы мы могли рассмотреть путь достаточно детально, то мы обнаружили бы множество зигзагов, получившихся при обходе нашим атомом всех встречных молекул. Но уже короткое размышление показывает всю нелепость такой мысли: чтобы вновь находить раз потерянное направление, атом должен был бы обладать разумом живого существа. Если бы мы дали ребёнку мелкую монету, указав ему на кондитерскую на противоположной стороне оживлённой улицы, то он, конечно, сохранил бы указанное ему прямое направление, хотя ему пришлось бы обходить людей и экипажи при переходе через улицу. Но ничего подобного нельзя себе представить относительно атома гелия.

Существует лишь одна возможность для объяснения прямолинейного пути: мы должны допустить, что атом гелия проходит через молекулы, с которыми он встречается; именно его громадная скорость каким-то образом даёт ему возможность это сделать. Мысль эта очень странна, но иного объяснения нельзя найти. Оказывается, что допущение это позволяет объяснить и ряд других фактов. Это именно и даёт уверенность, что выбранное объяснение правильно.

Этот эффект может быть продемонстрирован с помощью остроумно устроенного прибора, дающего возможность получить живую картину происходящего. Опыт этот, по моему мнению, один из самых замечательных в мировой науке. Мы увидим действительные пути отдельных атомов гелия, каждый из которых начинает свой пробег со скоростью в 16 000 *км* в секунду и заканчивает его, пройдя лишь около семи сантиметров воздуха. Но нам следует объяснить сперва способ действия прибора; в нём есть ряд гениальных подробностей[1].

Прибор этот изображён на рисунке 155. Он состоит из цилиндрического латунного ящика, скрытого под кожухом, со стеклянными крышкой и стенками. Отдельно эта деталь схематически изображена на рисунке 156. Дно ящика может подниматься или опускаться, изменяя его глубину. Механизм, состоящий из ряда колёс, шатунов и рычагов, показанный на рисунке 155 даёт возможность внезапно опускать дно ящика через необходимые промежутки времени. Когда это происходит, воздух или иной газ, наполняющий ящик, охлаждается вследствие внезапного расширения. Внутри ящика, на соответствующей подставке, прикреплённой к боковой стенке, расположено ничтожное количество радия. В каждое мгновение некоторые из атомов радия распадаются и выбрасывают атомы гелия, часть которых летит по прямым путям внутри ящика. Диаметр ящика достаточно велик, чтобы позволить атомам гелия закончить свои пути внутри его (в воздухе). Средняя продолжительность жизни радия так велика, что даже если бы прибор существовал две тысячи лет, то и тогда половина пятнышка радия ещё оставалась бы. Однако каждую секунду десять, двадцать или сто атомов разрушаются, выбрасывая атомы гелия. Это, пожалуй, наилучшее наглядное доказательство того, как много атомов сосредоточено в малом объёме.

---

[1] Этот прибор изобретён английским учёным Вильсоном в 1912 г. (Состав.)

Воздух в камере поддерживается сырым, поэтому охлаждение, возникающее вследствие расширения, способствует возникновению тумана. Образование тумана заключается в том, что «переохлаждённый» водяной пар осаждается (конденсируется) в виде мельчайших капелек на «взвешенных» в воздухе твёрдых частицах, так называемых центрах конденсации. В нашей атмосфере роль таких центров играют мелкие пылинки. Но более всего пары воды склонны осаждаться на тех атомах, через которые прошли атомы гелия. Причина этого заключается в том, что такие атомы временно повреждены атомом гелия; малая часть их вырвана из них вовсе.

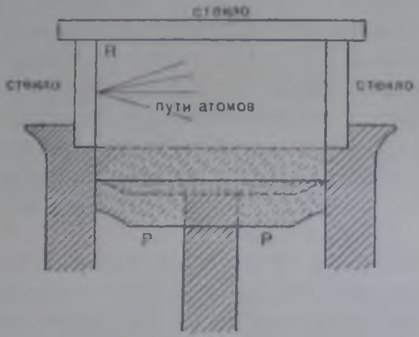


Рис. 156. Разрез камеры Вильсона *(схема).*

Эта вырванная часть представляет собой то, что мы называем электроном; он заряжен отрицательным электричеством, и поэтому атом, потерявший электрон, оказывается заряженным положительно. Рано или поздно вырванный электрон прилипает к одному из соседних атомов; следовательно, таким образом возникают два заряженных атома (один положительный, другой отрицательный) в том месте, где ранее были электрические нейтральные атомы. Заряженные атомы особенно сильно привлекают влагу, и на них туман образуется предпочтительнее всего. Поэтому при внезапном расширении и охлаждении воздуха вдоль пути атома гелия, оставившего после себя след из заряженных атомов, образуется туман. Камера освещается очень ярким светом, так что можно непосредственно наблюдать туманные пути в виде ярких прямых линий на тёмном фоне зачернённого дна камеры. Фотографии наблюдаемой картины даны на рисунках 157 и 158. Эти линии видны в течение нескольких секунд, а затем частицы тумана медленно рассеиваются. Линия оказывается резкой и ясной, если атом гелия совершил свой путь непосредственно перед образованием тумана, так как в этом случае у заряженных атомов не было времени разойтись в стороны. Но если путь пройдён заранее, до расширения, то линия тумана оказывается более раз-

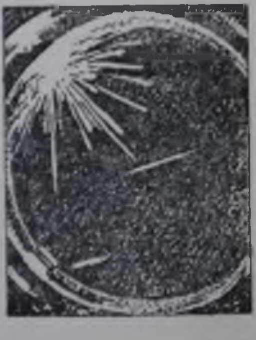


Рис. 157. Пути атомов гелия, наблюдаемые в камере Вильсона.

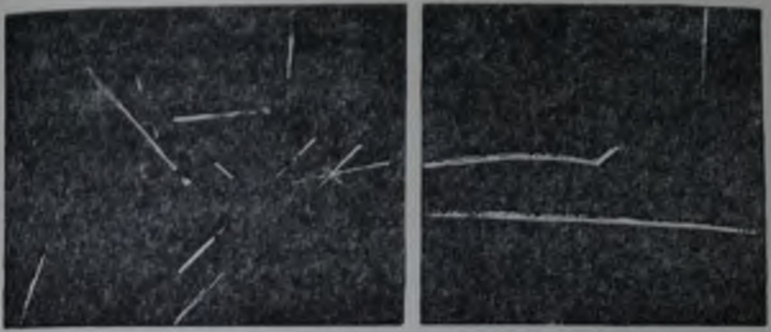


Рис. 158. Пути альфа-частиц, наблюдаемые в камере Вильсона.

мытой. Следует помнить, что атомы гелия выбрасываются непрерывно, ночью и днём; но только тогда, когда произведено расширение камеры, можно видеть их пути.

Рассматривая фотографии в лупу, мы увидим, что, хотя пути и являются прямыми на значительной части своего протяжения, они очень часто претерпевают резкие отклонения и преимущественно в конце путей. Такая увеличенная фотография показана на рисунке 159. Это замечательное явление оказывается в высокой степени важным, и мы теперь же остановимся на нём.

Попытаемся представить себе, в каком направлении нужно изменить наше первоначальное представление об атоме, чтобы объяснить явления, которые мы сейчас видим. Атомы должны быть устроены так, чтобы при обычных их встречах, какие имеют место, например, при столкновении молекул кислорода в атмосфере, каждый атом занимал строго ограниченную область, в которую другой атом не может проникнуть. Но в случае, когда один атом — атом гелия в нашем опыте — брошен на другие с достаточной скоростью, он может пронизывать их.

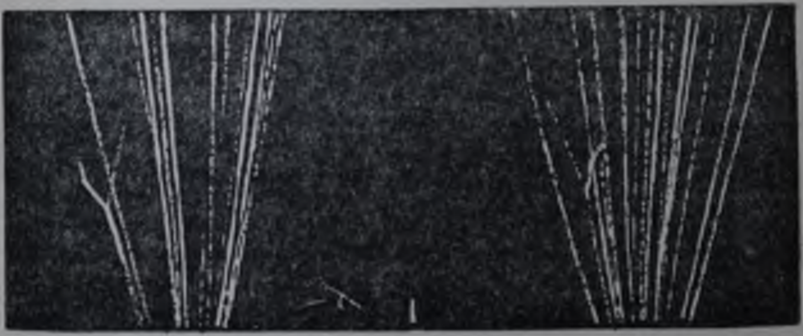


Рис. 159. Отклонение путей альфа-частиц в камере Вильсона.

Удовлетворительное объяснение этому явлению мы дадим, если будем считать, что каждый атом подобен миниатюрной солнечной системе. В центре атома есть ядро, соответствующее солнцу; вокруг ядра движутся спутники, или планеты, которые мы именуем электронами. Ядро заряжено положительным электричеством; каждый электрон заряжен отрицательно, и все электроны совершенно одинаковы. Положительный заряд ядра как раз достаточен для того, чтобы компенсировать общий отрицательный заряд всех электронов. Все электроны вращаются вокруг ядер, как планеты вокруг солнца.

Таким образом, вместо твёрдого шара определённого объёма, которым обычно изображали атом в первой грубой картине, мы имеем нечто вроде маленькой солнечной системы. Это позволяет сразу представить себе, как атом такого рода может пройти через другой атом; совершенно так же одна солнечная система могла бы пройти через другую без всяких повреждений для обеих, лишь бы только не было прямых столкновений между телами обеих систем и лишь бы скорость движения была достаточно велика. Последнее условие совершенно необходимо, так как если бы одна система была достаточно долгое время внутри другой или вблизи её, то, несомненно, возникли бы серьёзные возмущения в движении планет.

Теперь мы можем спросить себя: как атом может удержать другой атом вне своих границ при обычных столкновениях, если он устроен так, как мы только что описали? Как может атом сохранять для себя некоторую часть пространства, не позволяя другому атому войти в неё, если только скорость при встрече невелика? Причина этого совершенно ясна, если рассмотреть особое расположение положительных и отрицательных зарядов в атоме. Каждый атом окружён оболочкой из электронов, и когда два атома сталкиваются, то именно эти электронные оболочки сближаются прежде всего. Так как одинаковые заряды отталкиваются, то между атомами действует при этом сила, противодействующая их сближению: другими словами, они противодействуют взаимному проникновению их собственных частей.

Это, конечно, очень грубая картина того, что в действительности имеет место; характер этих противодействующих сил в действительности очень трудно объяснить такой простой гипотезой. Но общий характер объяснения, несомненно, верен.

Когда же два атома приближаются друг к другу с большой скоростью, система ядра и электронов одного из них проскальзывает через систему другого атома. Следующая модель поможет нам уяснить себе это обстоятельство.

На рисунке 160 изображён ряд стержневых магнитов, укреплённых стоймя на спиральных пружинах. Вершина внутреннего магнита является северным полюсом, тогда как наружные магниты обращены вверх южными полюсами. Модель в грубом виде

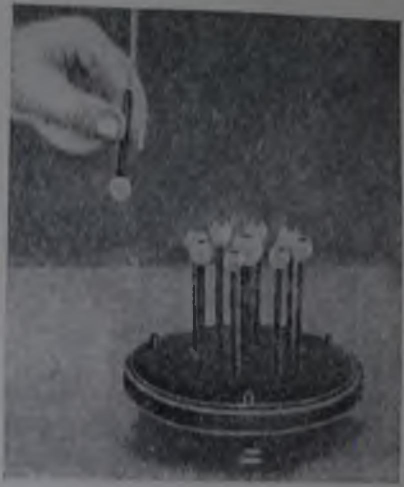


Рис. 160. Прямые магниты на пружинах.

представляет ядро, окружённое кольцом из электронов. В нашей модели всё расположено в одной плоскости; в настоящем атоме это не так, но это для нас не играет роли. Над нашей моделью, как раз над центральным магнитом, подвешен на длинной нити отдельный магнит южным полюсом вниз. Длина нити должна быть такова, чтобы качающийся магнит как раз касался магнитов модели. Отклоним качающийся магнит в сторону, как схематически показано на рисунке 160, но не очень далеко; он будет двигаться по направлению ко всей системе, но не может проникнуть внутрь неё. Он как будто стучится в двери в разных местах, но каждый раз отскакивает назад. Совершенно так же и электроны напрасно пытаются проникнуть через наружные границы атома, если только они не ударяют достаточно сильно. Можно заменить один качающийся магнит системой, подобной нашей системе укреплённых магнитов, — результат опыта нисколько не изменится. Мы имеем здесь картину наших атомов, сталкивающихся между собой и отскакивающих назад; каждый занимает определённую часть пространства и не допускает проникновения в неё других атомов.

Но если колеблющийся магнит отклонён достаточно далеко так, что он получает бо́льшую, чем прежде, скорость, то он пройдёт через систему магнитов насквозь. При этом, если скорость его очень велика, не произойдёт значительного изменения движения магнита; при меньших же скоростях происходят значительные изменения. При этом движение магнита сильно замедляется, часто резко изменяется направление его движения, а магниты нашей системы начинают колебаться, так как магнит, прошедший мимо них, отталкивается от них и выводит их из положения равновесия. Это происходит независимо от того, каким полюсом наш качающийся магнит обращён вниз; тот же эффект имел бы место

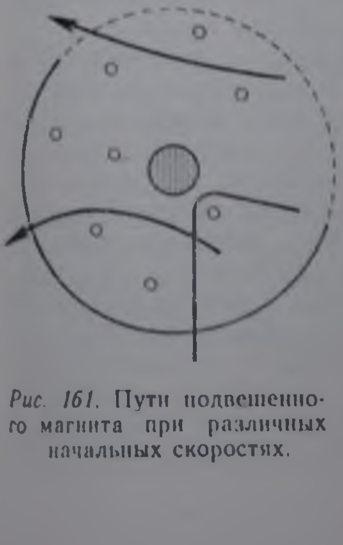


Рис. 161. Пути подвешенного магнита при различных начальных скоростях.

и при замене одного магнита целой системой из центрального «ядра» и спутников.

Поведение этой модели позволяет нам разобраться в том, что происходит, когда атомы описанного типа проходят один через другой. При сближении их с умеренной скоростью они отскакивают друг от друга; при больших скоростях они пронизывают друг друга, причём чем больше скорость, тем больше вероятность прохождения без всяких видимых последствий. Но всегда есть некоторые шансы, что ядро движущегося атома пройдёт так близко от ядра другого атома, что произойдёт заметное отклонение. Чем меньше ядра атомов, тем меньше вероятность этого события.

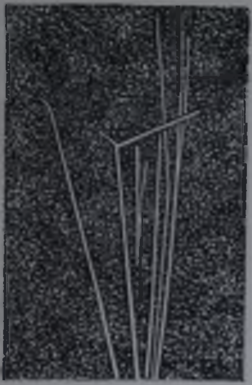


Рис. 162. Пути атомов гелия в камере, наполненной гелием.

Вы, конечно, уже сообразили, что вы видели подобное отклонение на рисунке 159, представляющем собой увеличенное изображение одного из кажущихся совершенно прямыми путей рисунка 157. Большей частью бывает не более одного или двух изломов на каждом пути, причём они встречаются преимущественно в конце. Это и понятно, так как скорость в конце пути становится меньше. В конце почти всех путей есть такие отклонения, и при увеличени снятых с них фотографий их нетрудно обнаружить. Мы видим, что наше новое представление об атомной структуре объясняет удовлетворительно все явления.

Трудно представить себе атомы, простейшие частицы, из которых состоят все наши тела, столь же «пустыми», как солнечную систему: мы имеем не твёрдое, круглое, совершенно непроницаемое тело, а ажурную комбинацию из ядра и электронов, которые занимают лишь небольшую часть всего объёма атома.

Фотографии, подобные воспроизведённым на рисунке 157 и 158, удаётся получить только в результате многократных опытов. При каждом расширении присутствуют изломы путей, но приходится сплошь и рядом долго ждать, пока не удастся увидеть достаточно резкий излом. Прекрасная фотография, воспроизведённая на рисунке 162, была получена следующим образом: камера была наполнена вместо воздуха гелием. Ядро летящего атома гелия, проходя через один из атомов гелия, принадлежащих к газу, совершило прямой удар в ядро атома газа: игрок на биллиарде сравнил бы это со столкновением биллиардных шаров. Как показывает фотография, оба атома разлетелись в разные стороны и при этом двигались с неодинаковыми скоростями, так как за одинаковое время образовали дорожки из тумана различной длины. Если присмотреться к рисунку 162, то можно заметить в конце последнего участка пути атома гелия маленький отросток. Это значит, что атом азота или кислорода, отклонив атом гелия, сам отскочил в результате столкновения. Пробег его очень короток, так как масса отскочившего атома значительно более массы ударившего атома, следовательно, приобретённая скорость относительно мала.

На некоторых фотографиях есть одна занятная особенность, которую нетрудно объяснить. На некоторых из туманных путей есть перерывы, как будто туман не образовался в этих местах. Это действительно так: в этих местах нет влаги, так как здесь прошёл несколько раньше атом гелия, и вся влага по соседству с таким местом была использована на образование тумана на другом пути[1].

Второй возникающий вопрос относится к числу электронов — спутников, имеющихся в каждом атоме. В этом вопросе мы сталкиваемся с замечательнейшей особенностью новых открытий.

Нет надобности объяснять подробно, как эта особенность была открыта; мы удовольствуемся простым описанием.

Мы знаем в настоящее время, что ядро атома заряжено положительным электричеством, причём величина заряда как раз достаточна для того, чтобы нейтрализовать отрицательные заряды электронов. Как мы видели, все электроны совершенно одинаковы. Оказывается, что различные атомы могут удержать различное число электронов, и знание этого числа совершенно достаточно для определения свойства атома.

Например, атом углерода может удержать шесть электронов; положительный заряд атома углерода равен по величине шести элементарным отрицательным зарядам. Всякий атом, могущий удержать шесть электронов, оказывается атомом углерода, другого определения атома углерода не нужно. Атом с семью электронами — это атом азота, а восьмиэлектронный атом — кислород. В природе существуют атомы, начиная с одноэлектронного атома водорода и кончая атомом с девяносто двумя электронами — атомом урана.

Чрезвычайно странно, что бесконечное разнообразие природы можно свести к ряду целых чисел. Одно время казалось, что разнообразие различных сортов атомов объясняется более сложно; обнаружение столь простого отличия между различными атомами кажется весьма удивительным. Наиболее постоянным свойством каждого атома является величина положительного заряда его ядра. Именно эта величина определяет число электронов, собирающихся около ядра. Следует ожидать, что электроны эти расположены вокруг ядра некоторым определённым образом. Вопросы, касающиеся расположения электронов в каждом отдельном случае и действующих при этом сил, весьма сложны; мы не будем останавливаться на этих вопросах и ограничимся лишь их беглым обзором.

---

[1] Тонкие туманные линии, обнаруживающие траекторию быстро движущегося ядра, называются обычно *треками*. *(Состав.)*

Прежде всего интересно посмотреть, как расположатся маленькие вертикальные магниты, плавающие в миске (рис. 163). Снизу к ним приделаны поплавки, выкрашенные в чёрную краску, а сверху — лёгкие белые шарики, чтобы они были лучше видны. Магнитики обращены вверх одинаковыми полюсами и потому они взаимно отталкиваются и уплывают к краям сосуда. Но под миской помещён электромагнит. Когда он начинает действовать, то собирает все маленькие магниты вместе. Их окончательное расположение обусловливается, с одной стороны, притяжением к центру (где расположен электромагнит), с другой стороны, их взаимным отталкиванием. Нечто подобное должно иметь место в атоме, но не следует продолжать эту аналогию чересчур далеко, так как возможно, что действующие в атоме силы совсем иного характера, чем те, что действуют в нашей модели. Мы должны удовольствоваться тем фактом, что когда плавающих магнитиков мало, они группируются все в одно кольцо, но при увеличении числа их они располагаются в ряд концентрических колец. Занятно наблюдать, как добавочный магнитик, помещённый у края сосуда, плывёт к своему окончательному месту.

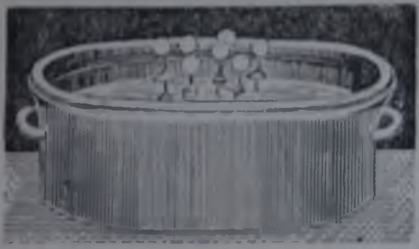


Рис. 163. Плавающие магниты.

Подобное же разделение на концентрические слои или оболочки имеет место при распределении электронов вокруг положительного ядра атома. Опыт не доказывает существования такого распределения электронов, но во всяком случае подсказывает его.

Мы можем теперь более отчётливо разобраться в том, что происходит, когда атом гелия разрушает атомы, через которые он проходит. Действительно, каждый атом может потерять один из окружающих ядро электронов. Потеряв один электрон, атом более энергично противодействует потере второго электрона и, тем более, потере третьего. Совершая свой путь, атом гелия вырывает у одного атома за другим их спутников, причём освобождённые электроны начинают двигаться самостоятельно. Но самостоятельная жизнь электрона весьма коротка — он скоро присоединяется к другому атому. Атом, потерявший электрон, оказывается теперь заряженным положительно; атом, приобревший электрон, заряжен отрицательно. Оба атома восстановили бы прежнее состояние, если бы они сошлись достаточно близко и при встрече нейтрализовались бы.

Мы видим, что действие радия дало удивительную возможность проникнуть в структуру атома. Всякий изучающий науку уже давно освоился с существованием различных атомов и с их свойствами, но он никогда не видел ни отдельного атома, ни его действий. Он всегда встречался лишь с совокупностью атомов. Когда химик производит реакцию с различными элементами, он всегда имеет дело с огромным числом атомов. Но в радиоактивных явлениях мы видим действие лишь одного атома. Скорость нашего гелиевого снаряда, вылетающего из распадающегося атома радия, в сотни тысяч раз превышающая обычные скорости атомов в газе, даёт отдельному атому возможность проявить себя непосредственно. Следя за туманными дорожками атомов, мы видим движение отдельных атомов. Мы видим нечто такое, что наполнило бы сердца первых защитников атомной теории удивлением и радостью. Когда, например, атом гелия проходил через атом кислорода, оба атома несли следы своей встречи. Мы использовали их для исследования строения атома.

(«О природе вещей», 1937 г.)

А. И. Китайгородский, В. А. Мезенцев

СТРОЕНИЕ МОЛЕКУЛ

В природе существует около 100 видов атомов, около 100 химических элементов. Соединяясь друг с другом в самых различных комбинациях, атомы создают то огромное количество различных тел природы, которое мы видим в окружающем нас мире.

Каким же образом происходит объединение атомов в молекулы?

В основном это осуществляется двумя путями.

Вот первый путь. Несколько атомов, сближаясь, заряжаются равномерно и притягиваются друг к другу. Для этого необходимо, чтобы один атом отдал свой электрон другому. Представим себе, например, что друг к другу приблизились атом магния и два атома хлора (рис. 164). Одиннадцатый и двенадцатый электроны магния, находящиеся во внешней оболочке, весьма слабо привязаны к своему атому. Они отрываются от атома магния и переходят к атомам хлора. Возникают положительный ион магния и отрицательные ионы хлора. Так как полученные ионы имеют противоположные заряды и притом заряд магния в два раза больше заряда хлора, то они притягиваются друг к другу и образуют молекулу хлористого магния.

Исследуя всевозможные соединения между атомами, можно обнаружить, что у атомов имеется стремление отдавать электроны внешнего слоя в том случае, когда внешний слой слабо заселён (один, два, три электрона). И, наоборот, у атомов имеется стремление присоединять электроны, если во внешней оболочке им не хватает одного-трёх электронов до числа 8. У атома хлора заполнены первые две оболочки, а в третьей находятся 7 электронов; поэтому атом хлора стремится присоединить к себе один электрон. У атома кислорода заполнена первая оболочка, а во второй находятся шесть электронов — атом кислорода стремится присоединить к себе два электрона.

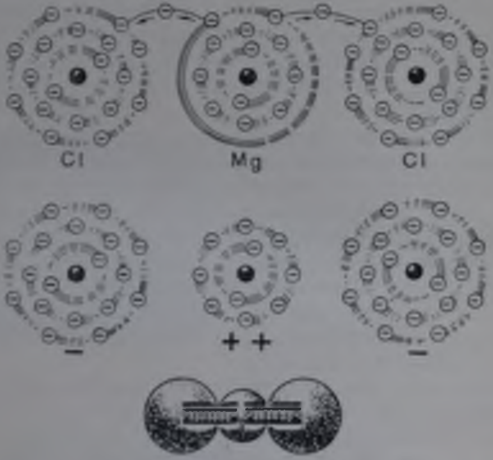


Рис. 164. Образование молекулы хлористого магния *(схема).*

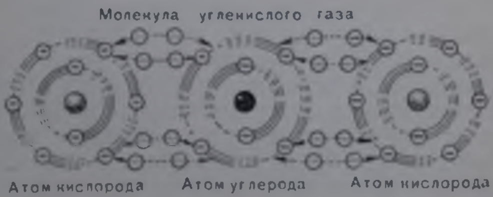


Рис. 165. Образование молекулы углекислого газа *(схема).*

Второй путь образования молекул из атома таков. При сближении двух или более атомов отдельные электроны, находящиеся на их внешних оболочках, перестают принадлежать какому-либо одному атому, а становятся связанными с двумя атомами. Внутренние же электроны остаются попрежнему в распоряжении каждого из атомов. Так образуется, например, молекула углекислого газа (рис. 165). Эта молекула состоит из атома углерода и двух атомов кислорода. У атома углерода шесть электронов, а у кислорода восемь. Молекула образуется следующим путём.

Атом углерода оставляет в своём индивидуальном пользовании только два электрона; второй парой электронов он связывается с одним атомом кислорода и третьей парой — со вторым атомом кислорода. В свою очередь кислород отдаёт два электрона на обмен и оставляет себе шесть электронов. Таким образом, в каждой связи углерод — кислород участвуют две пары электронов.

В результате такой связи атомов кислорода и углерода в молекулу около ядра кислорода движется 10 электронов и столько же около ядра углерода. Иными словами, каждый из атомов имеет одну заполненную оболочку (вспомните, что в первой оболочке два электрона) и, кроме того, около него вращается ещё восемь электронов.

Разберём другой пример.

Молекула воды состоит из одного атома кислорода и двух атомов водорода. Атом водорода — первый элемент в таблице Менделеева; у него один электрон. У атома кислорода первая оболочка заполнена, а во второй находятся шесть электронов. При соединении этих атомов в молекулу кислород оставляет себе из шести внешних электронов четыре; одним из своих электронов он связывается с первым атомом водорода, а другим электроном — со вторым атомом водорода. В свою очередь, водород отдаёт свой единственный электрон на «общее пользование» с кислородом. В результате каждая связь кислород—водород осуществляется одной парой электронов. Около атома водорода вращаются два электрона, а около кислорода 10: в первой оболочке два и ещё восемь.

Не приводя других примеров, скажем, что в значительном большинстве химических соединений это число 8 для атомного окружения играет решающую роль. Атомы, объединяясь в молекулу, стремятся окружить себя восемью электронами.

Это стремление окружить себя восемью электронами, разумеется, родственно стремлению к заполнению электронной оболочки, которое проявляется у рассмотренной выше (рис. 164) молекулы хлористого магния. Разница лишь в том, что там при первом способе соединения атомов в молекулу атомам удаётся окружить себя восемью электронами, вращающимися только около одного атома, тогда как при втором способе образования молекул атомам приходится удовлетворяться электронами, находящимися в общем пользовании. Но всё-таки около каждого атома движутся 8 электронов.

Чем можно объяснить это свойство атомов, объединяющихся в молекулу?

Оказывается, такое окружение атома — наиболее устойчиво. Это блестяще показывает таблица Менделеева. В ней, в нулевой группе, расположены химические элементы — газы гелий, имеющий порядковый номер 2, неон — порядковый номер 10, аргон 18, криптон 36, ксенон 54 и радон с порядковым номером 86.

Все эти газы называются инертными, потому что они с большим трудом вступают в химические реакции с другими веществами.

Секрет их инертности заключается в том, что внешняя электронная оболочка у атомов этих газов либо заполнена целиком, либо содержит наиболее устойчивое число электронов — 8 — над последней заполненной оболочкой. В самом деле, ядро атома гелия окружено одной заполненной оболочкой; ядро неона — двумя заполненными оболочками, причём вторая оболочка имеет восемь электронов; ядро аргона окружено двумя заполненными оболочками и ещё восемью электронами; ядро криптона — тремя заполненными оболочками с прибавкой восьми электронов $(2+8+18+8=36)$; ксенон и радон также имеют по восьми электронов во внешней оболочке.

Из этих примеров видно, что восьмерное электронное окружение атомов является действительно наиболее устойчивым. Именно поэтому инертные газы и не объединяются с какими-либо другими веществами в молекулы.

Мы уже говорили, что существуют молекулы не только сложных веществ — химических соединений, но и молекулы простых тел. Например, газы, входящие в состав воздуха, — азот и кислород, находятся в нём не в виде атомов, а в виде двухатомных молекул. Объясняется это тем же стремлением атомов к наиболее устойчивому восьмерному окружению. Если, например, при соединении атомов по два каждому из атомов удаётся окружить себя восьмёркой электронов, то обязательно образуется молекула химического элемента. Так, отдельному атому кислорода не хватает двух электронов для образования восьмерного окружения. Но если два атома соединятся вместе, обобщив при этом четыре электрона (по 2 от каждого), то около любого из них будут двигаться восемь электронов.

С этой точки зрения понятно отсутствие молекул, например, у аргона: атом аргона имеет восьмерное окружение и не вступает в объединение с другим атомом.

Таков механизм образования молекул.

(«Атом и молекула», 1952 г.)

Б. Меншуткин

ЧТО ТАКОЕ ХИМИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ

(Памяти *Э. Резерфорда*)

19 октября 1937 г., после тяжёлой хирургической операции, скончался Эрнест Резерфорд, один из самых выдающихся физиков наших дней. Работы его и многочисленных его учеников позволили дать более точный ответ на поставленный в заголовке вопрос — самый основной вопрос в химии. Поэтому своевременно осветить этот вопрос в его целом.

Начнём с определения понятия элемента.

Элементом называют последнюю составную часть чего-либо, которая: а) должна оставаться без изменения в результате анализа, т. е. при употреблённом методе анализа не должна давать более простых продуктов; б) должна как таковая входить в состав чего-либо целого. Этим двум требованиям должны удовлетворять любые элементы.

Оставляя в стороне невещественные элементы, окончательно изгнанные из химии лишь в 60-х годах XIX столетия (до этого времени продержался теплотвор или теплород), переходим непосредственно к материальным химическим элементам, введённым Робертом Бойлем в 1661 г. в его «Скептическом химике». Вот его определение :«Я считаю элементами некоторые первоначальные или простые, вполне несмешанные тела, которые не состоят из каких-либо других тел или друг из друга и являются теми составными частями, из которых непосредственно сложены все вполне смешанные тела и на которые последние в конце концов распадаются». Выражение «смешанный» отвечает нынешнему слову «сложный». Такое определение элемента было совершенно правильным с точки зрения философии: простые тела неразлагаемы и считались составными частями всех других тел.

Далее Р. Бойль ввёл химический анализ, разложение тел, со специальной задачей открывать простые тела, химические элементы, входящие в состав природных тел. Наконец он же высказал предположение, что эти химические элементы состоят из мельчайших частичек — корпускул, различных для разных элементов и образующих более крупные корпускулы, из которых сложены все тела.

Потребовалось 130 лет, чтобы воззрения Р. Бойля распространились среди химиков! Главная заслуга в этом отношении принадлежала А. Лавуазье, который тщательнейше поставленными опытами опроверг существование флогистона и почти довёл до конца «великую химическую революцию», т. е. замену невещественных элементов — материальными. В 1789 г. вышел курс химии А. Лавуазье, построенный на новых началах, на простых телах, среди которых он, однако, всё-таки оставил два невесомых элемента — теплотвор и свет.

Огромный количественный материал, собранный химиками конца XVIII в., позволил в самом начале XIX в. найти важнейшие законы, по которым совершается взаимное соединение простых тел, и эти законы получили своё объяснение в атомной гипотезе Д. Дальтона (1808 г.), уточнившего представление о корпускулах. Дальтон выдвинул положение, согласно которому конечными составными частями всех тел являются химически неразлагаемые атомы, так что именно атомы — химические элементы. Так как это положение гипотезы Дальтона ни в то время, ни в течение всего XIX столетия не могло быть проверено на опыте, то вполне естественно, что химики продолжали считать химическими элеменами неразложимые простые тела, состоящие из атомов; такое допущение давало объяснение законов химии, служивших как бы подтверждением существования атомов. Но при этом закрывали глаза на второе требование, которое предъявляется каждому элементу: входить как таковой в состав целого. А что простые тела непосредственно не являются составными частями сложных тел, было очевидно каждому: в поваренной соли нет металла натрия и газа хлора, в воде нет газов водорода и кислорода. Сделать отсюда неизбежный вывод, что простые тела — не элементы, что элементами являются атомы, — не позволяло главным образом отсутствие прямых доказательств существования атомов и их нахождения в телах; атомы были гипотетическими частицами, и учёные предпочитали оставаться на почве фактов. Поэтому-то вопрос о сущности химического элемента и в XIX в. и ещё в нынешнем для многих химиков представлялся смутным, так же как неясными оставались и взаимоотношения простых тел и элементов — элементами считали одновременно и простые тела и атомы, что порождало постоянные недоразумения, затемнявшие весь вопрос.

В настоящее время рядом фактов существование атомов поставлено вне всякого сомнения. Приведём некоторые из этих фактов. Исследования Дж. Томсона (1895—1897) над катодными и положительными (каналовыми) лучами показали, что в состав всех газов входят атомы и что эти атомы в сильном электрическом поле распадаются с выделением электронов. Радиоактивные химические элементы, открытые в 1896 г., были особенно тщательно исследованы в лаборатории Э. Резерфорда; сущность радиоактивности оказалась состоящей в распаде отдельных атомов этих элементов. Затем Э. Резерфорд опытами обстрела азота, алюминия и других простых тел альфа-частичками, выбрасываемыми радием, доказал, что атомы этих тел состоят из электрически положительно заряжённого ядра, окружённого слоем электронов. Это было затем распространено и на другие атомы и явилось исходным положением в деле изучения строения атомов вообще.

Следующим важным этапом было открытие, сделанное у Э. Резерфорда его уечником Г. Мозелеем в 1913—1914 гг., а именно способ находить для каждого химического элемента «порядковое число» — место его в ряде последовательно расположенных элементов. Это открытие имело громадное значение, так как впервые позволило установить общее число элементов, которых всего, до самого тяжёлого — урана — включительно, оказалось 92. Уже после окончания войны[1] Э. Резерфорд и его сотрудник Дж. Чэдвик нашли, что порядковое число Мозелея даёт величину электрического положительного заряда ядра атома соответствующего элемента.

Э. Резерфорд *(1871—1937)*.

Наконец удалось проникнуть в строение кристаллических тел при помощи лучей, открытых Р. Рентгеном в декабре 1895 г. и названных затем рентгеновыми. Первые шаги в этом направлении были сделаны ещё в 1912 г. М. Лауэ и Ф. Книппингом. Затем быстрое усовершенствование и упрощение методов исследования отцом и сыном Брэггами, П. Дебаем и другими позволили очень широко развернуть работу: уже к концу 1920 г. число исследованных кристаллов составляло сотни. Кристаллы оказались сложенными из атомов, различным образом связанных друг с другом. После этого не оставалось никакого сомнения в том, что именно атомы — те химические элементы, из которых построены все тела природы и получаемые в лабораториях вещества.

Наступила пора всестороннего изучения атомов. За это взялись представители новой науки — химической физики — с Э. Резерфордом во главе. Прежде всего был изучен электронный слой, окружающий в каждом атоме ядро. Это — дело ученика Э. Резерфорда — Нильса Бора, а затем — ряда других физиков. Оказалось, что число электронов атома определяется величиной заряда его ядра; атом в целом электрически нейтрален; каждый электрон несёт один элементарный отрицательный электрический заряд, а потому число электронов у каждого атома равно числу элементарных положительных электрических зарядов ядра. Электронный слой, в свою очередь, состоит из нескольких оболочек, число которых от одной доходит до семи у самых тяжёлых атомов. Число электронов наружной, внешней оболочки имеет самое большое влияние на химические свойства атома, которые, таким образом, оказываются связанными со строением его, а число внешних электронов, в свою очередь, зависит от общего числа электронов атома, т. е. в конечном итоге от величины заряда ядра атома.

---

[1] Имеется в виду первая мировая война. *(Состав.)*

Далее ученик Дж. Томсона Ф. Астон с 1920 г. приступил к определению веса отдельных атомов при помощи очень остроумного прибора. Уже первое определение, предпринятое с хлором, дало совершенно неожиданные результаты: атомы хлора оказались состоящими из двух сортов, причём каждый сорт заключал атомы одинакового веса, но вес атомов одного сорта значительно отличался от веса атомов второго сорта. Такие сорта атомов были названы изотопами: хлор состоит из двух изотопов. Велико было изумление химиков, когда эти результаты сделались известными: ведь в течение более чем столетия большинство их было уверено в справедливости одного из положений атомной гипотезы Дальтона, согласно которому все атомы одного элемента вполне одинаковы по весу и по всем свойствам, а это положение оказалось несовместимым с фактами[1].

Последующие исследования вполне подтвердили факт существования изотопов; число изотопов одного и того же элемента доходит до десяти (у олова). У каждого элемента все изотопы имеют одно и то же порядковое число, одинаковые электронные оболочки, тождественные химические свойства, но различаются весом атомов. Относительные количества изотопов в элементах земной коры и метеоритов, прилетевших неизвестно откуда, совершенно одинаковы.

В общем Ф. Астон доказал наличие около 300 разных атомов (не считая искусственных радиоактивных атомов). Это — нынешние элементы, из которых сложены все вещества. Для удобства мы их объединяем по химическим свойствам; все атомы одного и того же порядкового числа, с тождественными химическими свойствами, неразделимы химически, а так как химик имеет дело лишь с химическими свойствами, то он и считает совокупность всех атомов, химически тождественных, за один химический элемент.

Таким образом, все атомы одного и того же порядкового числа, одинаковых химических свойств образуют один химический элемент. Современный ответ на вопрос о том, что такое химический элемент, гласит: химический элемент есть совокупность всех атомов, имеющих одно и то же порядковое число, независимо от одинакового или различного веса их. Атомы неразложимы химическим анализом и как таковые входят в состав простых и сложных тел: они обладают всеми признаками элемента.

---

[1] Возможность изотопии предвидел А. М. Бутлеров. В 1880 г. он писал «Я ставлю вопрос, — не будет ли гипотеза Проута при некоторых условиях вполне истинной? Поставить такой вопрос значит решиться отрицать абсолютное постоянство атомных весов, и я думаю действительно, что нет причины принимать такое постоянство a priori!» (т. е. до опыта. — *Состав.*)

В заключение мне хотелось бы ещё указать, что новые факты, в таком изобилии открытые за последние годы для атомов, коренным образом преобразовали и периодическую систему элементов Д. И. Менделеева, которой Э. Резерфорд посвятил большой доклад в 1934 г. Она превратилась теперь в периодическую систему атомов, дающую в руках опытных исследователей результаты первостепенной важности (например в области геохимии — науки о химическом составе земной коры). Периодичность изменения химических свойств атомов есть прямое следствие изменения строения электронной оболочки их. Сам периодический закон получил новую формулировку: химические свойства атомов периодически изменяются с увеличением их порядкового числа.

Из этого краткого очерка очевидно, какую огромную роль сыграли Э. Резерфорд и его многочисленные ученики в уточнении вопроса о сущности химического элемента, получившего благодаря им ясность и определённость. В свою очередь новые воззрения на сущность химического элемента, зачатки которых мы встречаем ещё у Ломоносова, — позволяют теперь без всяких предположений и гипотез излагать основные представления химии, опираясь исключительно на доказанные на опыте факты.

(«Вестник знания», 1937 г.)

М. И. Корсунский

ИСКУССТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ

1934 г. ознаменовался новым важным открытием. Честь этого открытия принадлежит Фредерику Жолио и Ирэн Кюри. Вот как это произошло...

Кюри и Жолио стали систематически изучать, какие вещества могут под действием альфа-частиц испускать нейтроны. Они нашли, что при бомбардировке альфа-частицами таких веществ, как алюминий и магний, наблюдается появление нейтронов.

Испускание нейтронов алюминием было особенно интересным. Интерес к этому случаю вызывался тем, что алюминий, как это хорошо было известно со времени первых опытов по размещению ядер, при бомбардировке альфа-частицами испускает протоны. Результатом превращения ядра алюминия было образование кремния. Вот схема этого превращения:

$$^{27}_{13}\mathrm{Al} + ^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow ^{30}_{14}\mathrm{Si} + ^{1}_{1}\mathrm{H}.$$

Теперь же оказалось, что под действием альфа-частиц алюминий испускает не только протоны, но также и нейтроны. Между

Ф. Жолио-Кюри (*род. в 1900 г.*).

тем хорошо известно, что у алюминия только один изотоп. Это означает, что и нейтроны, и протоны наверняка появляются в результате превращения, происходящего с ядрами алюминия 27. Две различные частицы, вылетающие из одного ядра, — это было нечто новое. Можно было бы по этому поводу сделать два предположения.

1. Нейтрон и протон возникают из ядра алюминия одновременно.. Ядерная реакция должна итти иначе, именно:

$$^{27}_{13}\mathrm{Al} + ^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow ^{29}_{14}\mathrm{Si} + ^{1}_{1}\mathrm{H} + ^{1}_{0}\mathrm{n},$$

т. е. продуктом превращения также был бы изотоп кремния, но не 30, а 29.

2. Нейтроны возникают независимо от протонов. Тогда должно существовать два различных способа превращения алюминиевых ядер. Один из них нам уже известен — он приводит к образованию протона, а другой может быть записан так:

$$^{27}_{13}\mathrm{Al} + ^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow ^{30}_{15}\mathrm{P} + ^{1}_{0}\mathrm{n};$$

он приводит к образованию нейтрона. Одни ядра претерпевают превращения по одному способу, другие по другому.

Для того чтобы разобраться в том, какое из двух сделанных предложений правильно, нужно было провести дальнейшее изучение превращений ядер алюминия под действием альфа-частиц. Это изучение и было предпринято Жолио и Кюри. Они поместили алюминий в камеру Вильсона и стали наблюдать трэки частиц, образующихся при превращении его ядер. Совершенно неожиданно наряду с «жирными» трэками, которые естественно было приписать протонам, они заметили тонкие линии, похожие на трэки электронов. Понять причину появления электронов было нелегко. Они решили поместить камеру Вильсона в магнитное поле и снова повторить исследование. В магнитном поле тонкие трэки изогнулись, но не так, как это сделали бы электроны. Трэки изгибались в магнитном поле в направлении, соответствующем положительному заряду. Анализируя свои снимки, Жолио и Кюри поняли, что частицы, образующие такие трэки, были позитронами. Это был поразительный результат — оказалось, что позитроны, незадолго до этого открытые Андерсоном в составе космического излучения, могут возникнуть и на земле...

Возникновение нейтронов и позитронов было обнаружено не только у алюминия. Жолио и Кюри обнаружили, что бор и магний также испускают и нейтроны, и позитроны при бомбардировке их альфа-частицами. Конечно, надо было тотчас же проверить, как ведут себя и эти вещества. Не наблюдается ли у них радиоактивный распад, т. е. появление позитронов после облучения альфа-частицами? Опыты показали, что позитронный радиоактивный распад есть и у бора, и у магния. Когда подвергли бор облучению альфа-частицами, а затем источник альфа-частиц убрали, то сразу же заметили, что испускание позитронов не прекратилось, а продолжалось с постепенным понижением интенсивности. Уменьшение числа позитронов у бора было более медленным, чем у алюминия. Лишь спустя четырнадцать минут число позитронов, вылетающих в единицу времени, уменьшалось вдвое.

Магний вёл себя аналогичным образом. И он после бомбардировки альфа-частиц испускал позитроны. Время, в течение которого интенсивность излучения уменьшалась наполовину, оказалось равным двум с половиной минутам.

Итак, возбуждение искусственного радиоактивного распада оказалось реальностью. Явление, с которым в начале нашего века учёные были бессильны что-либо поделать, в 1934 г. было создано в лаборатории. Жолио и Кюри получили три радиоактивных распада:

у алюминия (период полураспада 3,25 минуты),
у магния (период полураспада 2,5 минуты),
у бора (период полураспада 14 минут).

Что же было причиной искусственного радиоактивного распада? Какие вещества распадались? Ясно было, что это не алюминий, не бор и не магний. Ибо хорошо было известно, что эти вещества до облучения их альфа-частицами никаких признаков радиоактивного распада не обнаруживали. Совершенно очевидно, что это были какие-то новые вещества, ранее неизвестные.

Предположение о том, что нейтроны и позитроны возникают одновременно, было, очевидно, неверным. Позитроны возникали после облучения, а нейтроны и протоны наблюдались только во время облучения исследуемых веществ альфа-частицами. Если нейтроны и позитроны возникают раздельно, то их появление можно описать последовательными ядерными реакциями. Так у алюминия нейтроны возникают в результате превращения

$$^{27}_{13}\mathrm{Al} + ^{4}_{2}\mathrm{He} \to ^{30}_{15}\mathrm{P} + ^{1}_{0}n;$$

следствием такого превращения является образование изотопа фосфор 30. Но изотопа фосфор 30 среди стабильных изотопов нет. У фосфора известен только один изотоп — фосфор 31. Поэтому

Жолио решил, что если фосфора 30 среди известных устойчивых изотопов не существует, то это означает, что он неустойчив и должен распадаться. Следствием этого распада и является возникновение позитрона. Итак, позитроны появляются в результате радиоактивного распада неустойчивого изотопа фосфора 31[1].

$${}^{30}_{15}\mathrm{P}^* \to {}^{30}_{14}\mathrm{Si} + {}^{0}_{+1}l.$$

Мы пришли почти к прежнему выводу: оба превращения ядра алюминия приводят к образованию одного и того же изотопа кремния; только в одном случае превращение в изотоп кремния совершается сразу (с испусканием протонов), а в другом случае оно происходит сложным путём — сначала образуется неустойчивый изотоп фосфор 30, а затем, после испускания им позитрона, конечный устойчивый продукт кремний 30.

Аналогично обстоит дело с магнием и бором. В результате превращений этих веществ также возникают неустойчивые изотопы. Так, в случае магния превращение происходит следующим образом:

$${}^{24}_{12}\mathrm{Mg} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \to {}^{27}_{14}\mathrm{Si}^* + {}^{1}_{0}n.$$

Кремний 27 неустойчив (известны три устойчивых изотопа кремния — кремний 28, кремний 29 и кремний 30). Неустойчивый изотоп кремния постепенно распадается. При этом распаде испускаются позитроны. Формула этого превращения такова:

$${}^{27}_{14}\mathrm{Si}^* \to {}^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{0}_{+1}l.$$

Превращение бора описывается следующей схемой:

$${}^{10}_{5}\mathrm{B} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \to {}^{13}_{7}\mathrm{N}^* + {}^{0}_{1}n.$$

Неустойчивый изотоп азота — азот 13 — распадается, превращаясь в устойчивый изотоп углерода:

$${}^{13}_{7}\mathrm{N}^* \to {}^{13}_{6}\mathrm{C} + {}^{0}_{+1}l.$$

Вот какое объяснение было дано появлению позитронов у алюминия, магния и бора. Ответственными за радиоактивный позитронный распад оказались неизвестные ранее, неустойчивые изотопы фосфора, кремния и азота.

Понимая всю важность сделанного открытия, Жолио решил непосредственными опытами подтвердить существование этих новых радиоактивных изотопов. Он решил доказать прямыми опытами, что, например, при бомбардировке алюминия альфа-частицами действительно возникает фосфор. Для этого он воспользовался тем же методом, какой применил в своё время Рамзай при исследовании химических свойств эманации радия. Опыты Жолио были, однако, ещё более трудны, так как в его распоряжении было не более десятка тысяч атомов новых веществ. И вот с этим ничтожным количеством, весящим около 10—18 *г*, нужно было произвести различные химические операции. Это оказалось возможным потому, что радиоактивные вещества сами сообщают о своём присутствии: они распадаются, а распад каждого отдельного атома можно обнаружить.

---

[1] В дальнейшем для отличия у символа радиоактивного изотопа мы будем ставить звездочки (*).

Предполагая, что при облучении алюминия альфа-частицами возникает фосфор, Жолио произвёл с алюминием, облучённым альфа-частицами, те технические операции, которые были необходимы для отделения от него фосфора. Если бы гипотеза Жолио оказалась правильной, то там, где должен быть фосфор, оказалось бы вещество, распад которого сопровождается испусканием позитронов. Так и случилось. Проделывая различные химические манипуляции, он убедился в том, что вещество, испускающее позитроны, по своим химическим свойствам отлично от алюминия и кремния, но совершенно тождественно фосфору. Тем самым была доказана правильность гипотезы Жолио.

Из этих работ вытекают чрезвычайно важные выводы. Некоторые из них мы рассмотрим позже, а некоторые сформулируем сейчас:

1. Неустойчивое радиоактивное состояние вещества может быть вызвано искусственно. Оно возникает, например, в результате проникновения альфа-частиц внутрь ядра.

2. Радиоактивными могут быть не только тяжёлые элементы, находящиеся в конце периодической системы Менделеева; Жолио показал, что и лёгкие элементы, такие, как азот, также могут находиться в неустойчивом радиоактивном состоянии.

3. У обыкновенных устойчивых элементов — фосфора, азота, кремния — существуют радиоактивные изотопы. Возможно (мы увидим далее, что это именно так), что и другие элементы также могут иметь радиоактивные изотопы, которые мы не обнаруживаем только потому, что все они давно распались.

4. Ядерные превращения могут происходить несколькими путями: алюминий 27 под действием альфа-частиц превращается либо в кремний (один путь), либо в фосфор (другой путь).

Новые радиоактивные изотопы получили особые названия. Изотоп $^{30}_{15}\mathrm{P}^*$ стали называть «радиофосфор» $^{13}_{7}\mathrm{N}^*$ «радиоазот» и, наконец, $^{27}_{14}\mathrm{Si}^*$ «радиокремний». Эти названия подчёркивают радиоактивные свойства изотопов...

Б. Г. Кузнецов

«ЗОЭ»

Жолио начал упорную борьбу за мирное использование атомной энергии. В старом парижском форте Шатильон он построил первый французский атомный котёл, в котором осуществлялась цепная ядерная реакция. Жолио назвал его греческим словом «Зоэ» — жизнь. Учёный-патриот и его сотрудники приступили к строительству только после того, как заявили, что работа над атомной энергией будет преследовать исключительно мирные цели. Для этого и был сооружён атомный котёл «Зоэ».

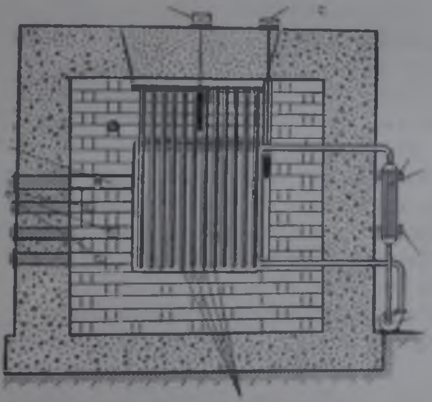


Рис. 166. Атомный котёл (*схема устройства*).

Рисунок 166 схематически показывает его устройство. Установка представляет собой большой чан с «тяжёлой водой». В него опущены урановые стержни, изображённые в центральной части рисунка. Помещённая внизу подпись «Урановые стержни» соединена с их изображением несколькими чёрточками. Нейтроны, испускаемые ураном, проходят через тяжёлую воду, замедляются и становятся способными поддерживать цепную реакцию. Чтобы нейтроны не терялись, выходя за пределы установки, чан окружён графитовыми стенками (отражатель). Снаружи установка со всех сторон закрыта толстым слоем бетона, который задерживает вредные для людей и аппаратуры излучения. Сверху над котлом висит большой стержень из вещества, поглощающего нейтроны; он позволяет предотвратить слишком значительное выделение энергии. Если бы количество выделяемой энергии превысило определённую норму, тяжёлая вода не успела бы охладиться, закипела, не могла задерживать нейтроны, цепная реакция прекратилась, и котёл вышел бы на время из строя. Чтобы этого не произошло, в установку включён аварийный стержень.

Слева мы видим ионизационную камеру — канал в бетонной и графитовой стенках котла. В камере находится прибор, измеряющий интенсивность нейтронных потоков. В случае слишком большой интенсивности этот прибор автоматически включает устройство, опускающее в котел аварийный стержень. Справа, рядом с аварийным стержнем, находится управляющий стержень. Погружая его на ту или другую глубину в котел и изменяя эту глубину, можно по желанию увеличивать или уменьшать поглощение нейтронов и соответственно замедлять или ускорять ход цепной реакции. Справа виден насос и теплообменник для охлаждения тяжёлой воды. Тяжёлая вода проходит из верхней части котла в теплообменник, где она охлаждается обыкновенной проточной водой. Затем по нижней трубе она снова поступает в котёл. Как уже было сказано, охлаждение тяжёлой воды необходимо, чтобы она выполняла свою функцию — задерживала нейтроны.

Слева под ионизационной камерой видно несколько других каналов в графитовой толще, куда помещали различные тела для облучения их нейтронами. Под воздействием нейтронных потоков эти тела становятся радиоактивными и могут быть применены в качестве источников радиоактивных излучений в лабораториях, в промышленности и в медицинских учреждениях, в частности для лечения рака и других болезней. Это — важная часть установки, так как цель «Зоэ» именно и состояла в дальнейшем прогрессе физики и в получении радиоактивных изотопов для нужд промышленности и медицины. Сама конструкция показывает гуманное, мирное, прогрессивное назначение «Зоэ». Установка служит жизни и оправдывает название, которое ей дал Жолио-Кюри.

В отчете Национальному экономическому совету Жолио-Кюри указывал на научное и промышленное значение своей атомной установки. «Этот первый котёл, — писал он, — позволяет подготовить в лучших условиях конструирование котлов небольшой мощности и одновременно получать искусственные радиоактивные элементы, открытые во Франции в 1934 г. Сейчас их известно 600. Эти искусственные радиоактивные элементы имеют выдающуюся ценность для исследований в области биологии, химии, физики и медицины, а также для промышленных исследований»[1].

Далее Жолио указывает, что следующим этапом работы будет сооружение более мощного атомного котла. Мощность «Зоэ» — несколько киловатт; второй котёл должен обладать мощностью 6 тыс. *квт*, а третий 200 тыс. *квт*.

«Таким образом, — говорит Жолио, — на третьем этапе можно получить мощную энергетическую станцию. Два десятка таких станций дадут столько электричества, сколько сейчас потребляет Франция. Будет достаточно одного вагона урана, чтобы питать эти станции в течение года»[2].

Установка «Зоэ» была пущена 15 декабря 1948 г. в 12 час. 12 мин. За полчаса до пуска Жолио-Кюри и его сотрудники приступили к регулированию насоса, накачивавшего тяжёлую воду в атомный котёл. По мере наполнения котла нейтроны замедлялись тяжёлой водой и соответственно развивалась цепная реакция.

---

[1] Мишель Рузе, Фредерик Жолио-Кюри, стр. 45.
[2] Там же, стр. 46—47.

Жолио вёл дневник, записывая показания приборов. Насос был устроен таким образом, что его работа поддерживалась автоматическим прибором с кнопочным управлением, причём нужно было каждые 30 секунд нажимать кнопку, чтобы накачивание воды ускорялось. Приборы должны были зарегистрировать реакцию, когда вода достигнет определённого уровня. Момент, когда этот уровень был достигнут, вызвал большое волнение, так как приборы не отметили начала реакции. Но уже со следующими движениями насоса на циферблате дрогнула стрелка, и через некоторое время, в 11 час. 37 мин. приборы отметили непрерывное нарастание реакции. Ещё 25 минут эта реакция нарастала и, наконец, в 12 час. 12 мин. Жолио значительно ускорил работу насоса, и щёлкание счетчиков перешло в непрерывное гудение. Ангар, в котором помещалась установка, был открыт, Жолио объявил о начале атомной реакции работникам, сооружавшим установку, и вскоре новость облетела весь мир.

Пуск «Зоэ» был воспринят как победа науки, борющейся за мир. Союз горнорабочих Франции приветствовал строителей атомного котла и заключил свое письмо словами: «Да здравствует Жолио-Кюри, герой науки, служащей делу мира»[1].

Парижский муниципалитет написал Жолио, что его труды в области атомной энергии «поставили эту громадную силу на службу человечеству и миру». Но американские дельцы были встревожены. «Нью-Йорк геральд трибюн» сообщила о пуске «Зоэ» телеграммой: «Вчера в 12 час. 12 мин. дня англо-американская монополия на атомную энергию кончилась»[2].

На самом деле американская монополия на атомную энергию кончилась задолго до этого. Она была уничтожена Советским Союзом. Ещё 6 ноября 1947 г. В. М. Молотов сказал о секрете атомной бомбы, что «этого секрета давно уже не существует»[3].

(*«Фредерик Жолио-Кюри — учёный и борец за мир»*, 1952 г.)

М. А. Ельяшевич

ДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

С тех пор как первобытный человек научился получать огонь, всё шире и шире химические превращения применялись в качестве источника энергии. Основой современной энергетики являются процессы сгорания топлива. В военной технике широко применяются взрывчатые вещества, действие которых является результатом освобождения энергии при реакциях разложения сложных молекул, из которых состоят эти вещества.

---

[1] Мишель Рузе. Фредерик Жолио-Кюри, стр. 18.

[2] Там же.

[3] См. сообщение ТАСС в «Правде» 25 сентября 1949 г.

Величайшим достижением современной науки является открытие огромных источников энергии, заключающихся внутри атомов вещества, в их ядрах, — открытие атомной энергии. Первым явлением, при изучении которого были обнаружены эти внутренние запасы атомной энергии, было явление радиоактивности, открытое 50 лет тому назад, в 1896 г., французским учёным Анри Беккерелем и затем подробно изученное супругами Кюри, Резерфордом, Содди и рядом других учёных. Сейчас, через 50 лет, осуществлено первое техническое использование атомной энергии — для военных целей в виде атомной бомбы. Огромное значение решения проблемы использования атомной энергии состоит в том, что оно открывает исключительные перспективы мирных применений атомной энергии, открывает новый этап подчинения человеком сил природы.

Каковы же запасы энергии, скрытой в недрах вещества? Об этом лучше всего говорят цифры, получаемые в результате сравнения энергий, освобождающихся при химических реакциях, с атомной энергией.

Мы будем применять для измерения энергии единицы, принятые в атомной физике — электрон-вольты (eV). За единицу энергии — один электрон-вольт ($1eV$) — берётся энергия, которую приобретает электрон или другая частица, обладающая одним элементарным электрическим зарядом ($e = 4.8 \cdot 10^{-10}$ электростатических CGS единиц), в ускоряющем электрическом поле при разности потенциалов в $1V$. Когда мы говорим о частице с энергией в 100 eV, это означает, что она обладает энергией, равной энергии, получаемой электроном под действием ускоряющей разности потенциалов в 100 V.

Для химических превращений — реакций соединения и разложения — типичными являются следующие цифры: при сгорании угля в результате соединения атома углерода (C) с молекулой кислорода (O_2), состоящей из двух атомов кислорода, в молекулу углекислого газа (CO_2) выделяется энергия в 4 eV, что составляет 0,25 eV в расчёте на $^1/_{12}$ долю массы атома углерода, равную единице атомной массы (за которую берётся, как известно, $^1/_{16}$ массы атома кислорода). При разложении молекул взрывчатого вещества тротила — тринитротолуола $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$ — выделяется энергия 10 eV, что составляет на единицу атомной массы около 0,04 eV (молекулярный вес тротила равен 227, и нужно взять $^1/_{227}$ от 10 eV).

Внутренняя атомная энергия, заключающаяся в скрытом виде в частицах вещества, согласно закону эквивалентности массы и энергии Эйнштейна[1], измеряется массой m. В частице массы m заключается энергия mc^2, где c — скорость света, равная 300 000 $\frac{см}{сек} = 3 \cdot 10^{-10} \frac{см}{сек}$. Энергия, заключающаяся в частице, обладающей единицей атомной массы, оказывается равной 931 миллиону электрон-вольт (931 *MeV*, где через *MeV* обозначена часто применимая единица — миллион электрон-вольт), или, грубо говоря, 1 миллиарду электрон-вольт. Эта энергия, превосходящая в миллиарды раз химические энергии, выделилась бы полностью при превращении частиц вещества в свет — в излучение. Процессы подобного рода, носящие неудачное название аннигиляции материи[1], наблюдались для электронов. Обычный отрицательный электрон и положительный электрон — позитрон, встречаясь, уничтожаются как частицы и дают две порции световой (электромагнитной) энергии — два кванта. При этом освобождается энергия, соответствующая массам двух электронов, положительного и отрицательного, и равная примерно 1 *MeV* (масса электрона составляет $^1/_{1850}$ атомной единицы, т. е. ей соответствует энергия $^1/_{1850} \cdot 931\ MeV = 0{,}5\ MeV$). Однако для тяжёлых частиц — ядер (в том числе для самого лёгкого ядра — ядра водорода, т. е. протона) процессы аннигиляции не наблюдались, и неизвестно — могут ли они вообще быть осуществлены экспериментально. Поэтому вопрос о возможности полного использования скрытой в веществе энергии пока остаётся открытым.

---

[1] Этот закон был установлен Эйнштейном при создании им специальной теории относительности в 1905 г. Его установлению предшествовало развитие представлений об электромагнитной массе электрона.

Иначе обстоит дело с энергией ядерных превращений, т. е. с энергией, которая выделяется при превращениях одних химических элементов в другие. Такие превращения впервые наблюдались при процессах радиоактивности, когда они происходят самопроизвольно. Искусственно они могут быть осуществлены путём бомбардировки атомов быстро движущимися частицами (искусственные превращения элементов). Энергии ядерных превращений измеряются миллионами вольт и могут быть с большой точностью оценены по изменению массы участвующих в ядерных реакциях частиц.

Рассмотрим энергии образования ядер из элементарных частиц, являющихся их составными частями, а именно из положительно заряженных ядер водорода — протонов и из нейтральных частиц — нейтронов. Как известно, число протонов в ядре определяет его положительный заряд — его порядковый номер Z и, следовательно, химические свойства атома, образованного путём присоединения к этому ядру Z электронов. Общее число протонов и нейтронов в ядре A приближённо равно его атомному весу и носит название массового числа, или массового номера. Различные изотопы одного элемента представляют собой ядра, отличающиеся массовым номером при том же порядковом номере. Например для урана (U) мы имеем главные изотопы U^{238} с массовым номером 238 (238 частиц — 92 протона и 146 нейтронов) и U^{235} с массовым номером 235 (235 частиц — 92 протона и 143 нейтрона). Разность $M - A$ действительного атомного веса M атома и его массового номера A носит название дефекта массы и характеризует тот избыток энергии, которым обладает данный атом по сравнению с атомом веса A.

---

[1] Разумеется, при этих процессах никакой аннигиляции (уничтожения) материи в философском её понимании, как объективной реальности, не происходит, а идёт лишь речь о переходе одной формы материи (в виде частиц) в другую её форму (в виде излучения, т. е. в виде электромагнитных волн).

Для ядра гелия He^4, состоящего из двух протонов и 2 нейтронов, данная разность равна 0,03031, что соответствует энергии образования гелия из протонов и нейтронов, равной 28,2 *MeV*. Для лёгких элементов выгодно постепенное усложнение ядер, т. е. образование более сложных ядер из более простых сопровождается выделением энергии. Особенно выгодно образование ядер гелия из протонов и нейтронов, при котором на единицу атомной массы выделяется энергия $^{28}/_{4} = 7$ *MeV*, т. е. почти 1% полной энергии, заключённой в единице атомной массы (931 *MeV*). Повидимому, реакция подобного типа происходит в недрах звёзд (при участии атомов углерода, азота и кислорода) и является главным источником энергии, поддерживающим излучение звёзд. В земных условиях, однако, пока не удалось осуществить таких реакций типа химических реакций горения, пригодных для практического использования атомной энергии. При ядерных реакциях, вызываемых ударами быстрых частиц (обычно протонов, нейтронов, ядер тяжёлого водорода — дейтонов и ядер гелия — α-частиц), лишь ничтожная доля ударяющих частиц вызывает превращение, и освобождающаяся энергия недостаточна для дальнейшего продолжения реакции.

Проблема практического использования атомной энергии лёгких элементов не решена и является в настоящее время, повидимому, ещё далёкой от разрешения.

Рассмотрим теперь энергию образования тяжёлых ядер, являющихся, как уже подчёркивалось выше, менее устойчивыми. С увеличением атомного веса добавление новых протонов и нейтронов делается всё менее выгодным, и для ядер с атомным весом около 200 и выше добавление двух протонов и двух нейтронов приводит к выигрышу энергии меньшему, чем выигрыш, связанный с образованием ядра гелия He^4, поэтому для тяжёлых ядер энергетически выгоден распад ядра с выбрасыванием ядра гелия (α-частицы), наблюдаемый при радиоактивных явлениях. Вместе с тем легко видеть, что полная энергия образования тяжёлых ядер значительно меньше, чем энергия образования двух ядер половинной массы. Например, энергия образования ядра U^{235} составляет 1764 *MeV*, а энергия образования двух ядер олова Sn^{116} составляет 1964 *MeV*, т. е. на 200 *MeV* больше. Таким образом, энергетически выгоден распад ядра урана на два ядра половинной массы, который должен быть связан с дополнительным выделением энергии в 200 *MeV* или примерно 0,8 *MeV* на единицу атомной массы — энергии, в 20 миллионов раз превосходящей химическую энергию распада молекулы тротила.

Процесс распада тяжёлых ядер на части действительно происходит. В 1939 г. было открыто явление деления ядер урана при их бомбардировке потоком нейтронов. Нейтрон, сталкиваясь с ядром, захватывается им[1], после чего ядро распадается на две части — два осколка почти равной массы. Обычно деление, как показали опыты, происходит на два осколка, один из которых имеет массу 130—140, а другой 90—100.

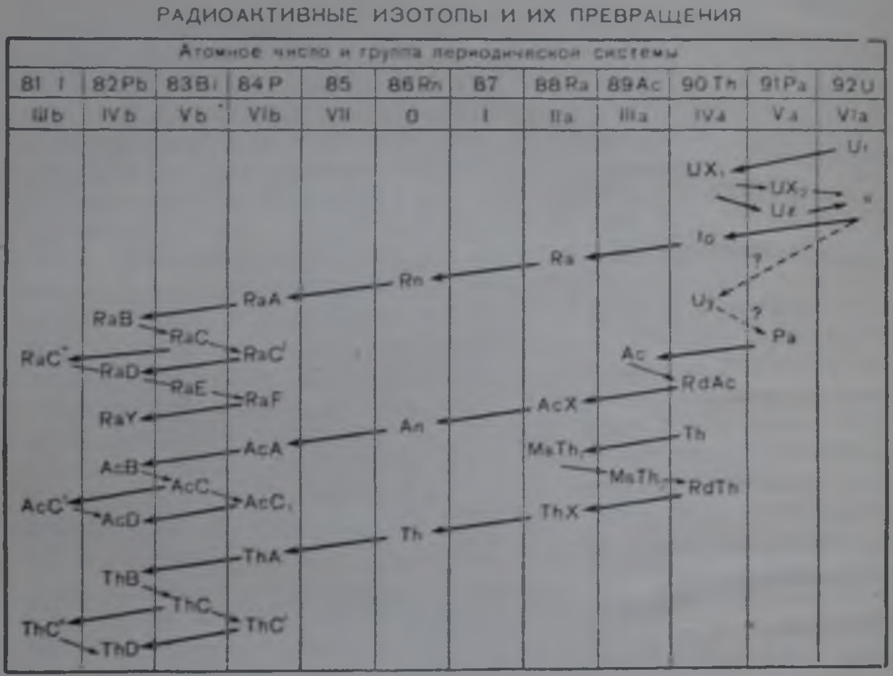

РАДИОАКТИВНЫЕ ИЗОТОПЫ И ИХ ПРЕВРАЩЕНИЯ
Атомное число и группа периодической системы
81 Tl
82 Pb
83 Bi
84 Po
85
86 Rn
87
88 Ra
89 Ac
90 Th
91 Pa
92 U
IIIb
IVb
Vb
VIb
VII
0
I
IIa
IIIa
IVa
Va
VIa
U₁
UX₁
UX₂
UZ
U₂
Io
Ra
Rn
RaA
RaB
RaC
RaC'
RaC''
RaD
RaE
RaF
RaY
UY
?
Pa
Ac
RdAc
AcX
An
AcA
AcB
AcC
AcC'
AcC''
AcD
Th
MsTh₁
MsTh₂
RdTh
ThX
Th
ThA
ThB
ThC
ThC'
ThC''
ThD

Рис. 167. Радиоактивные изотопы и их превращения.

Освобождающаяся при этом энергия близка к 200 *MeV*. Важнейшей особенностью деления урана является то, что наряду с этими тяжёлыми осколками выбрасывается и два-три нейтрона. Это связано с тем, что в тяжёлых ядрах имеется значительный избыток нейтронов по сравнению с протонами. Даже после выбрасывания двух-трёх нейтронов при делении в каждом из осколков имеется избыток нейтронов, и эти осколки затем распадаются, претерпевая ряд последовательных превращений, —

---

[1] Тот факт, что именно нейтроны вызывают деление урана, объясняется тем, что они, как нейтральные, незаряженные частицы, могут близко подойти к ядру, тогда как положительно заряженные протоны, дейтоны и α-частицы очень сильно отталкиваются ядрами.

являются радиоактивными. Они испускают электроны и превращаются, обычно через несколько часов или дней, в известные устойчивые элементы. Выбрасывание нескольких нейтронов при делении урана делает в принципе возможным цепной процесс, при котором эти нейтроны вызывают деление новых ядер урана с выбрасыванием новых нейтронов, вызывающих опять процессы деления с выбрасыванием нейтронов и т. д. Для осуществления процесса, идущего нарастающим образом, необходимо, чтобы на каждый нейтрон, вызывающий деление, получалось бы число *к* новых нейтронов, вызывающих новые деления, превышающие единицу. Когда это число *к* точно равно единице, реакция деления урана будет как раз поддерживаться — получится медленная саморазвивающаяся реакция. Нарастающий процесс деления урана, протекающий достаточно быстро, приведёт к взрыву, подобно тому, как это происходит при детонации взрывчатого вещества. Известно, что при детонации в результате разложения исходных сложных молекул под действием осколков — продуктов распада — будут разлагаться новые молекулы, дающие новые осколки и т. д., причём число разлагающихся молекул быстро нарастает и в короткое время детонация охватывает всю массу взрывчатого вещества.

Процесс нарастающего разложения ядер урана схематически показан на рисунке 168. Часть нейтронов не вызывает делений, но в общем число процессов деления на каждой следующей стадии становится всё больше и больше. Именно цепную реакцию подобного типа с освобождением огромного количества атомной энергии в виде взрыва атомной бомбы удалось осуществить в Соединённых Штатах Америки в результате широко поставленных работ по использованию атомной энергии для военных целей, описанных в специальном американском отчёте. Практическое осуществление цепной реакции распада урана было связано с очень большими трудностями. Обычный уран представляет собой смесь двух изотопов: U^{238}, составляющего 99,3%, и U^{235}, составляющего лишь 0,7% ($^{1}/_{140}$) всего урана. Цепной процесс возможен лишь для ядер U^{235}. Ядра U^{238}, захватывая нейтроны, обычно не делятся, а дают неустойчивый изотоп U^{239}, который, испуская два электрона, превращается в устойчивый[1] элемент — плутоний Pu^{239}, имеющий заряд $Z = 94$ вместо $Z = 92$ для урана (потеря ураном U^{239} двух отрицательных зарядов означает увеличение положительного заряда на две единицы).

Для осуществления цепного распада U^{235} в виде взрывной реакции нужно было его отделить от U^{238}, что являлось очень трудной технической задачей. Разделение изотопов весьма затруднительно, так как их химические свойства одинаковы, а массы очень мало различаются.

---

[1] Плутоний является радиоактивным, однако распадается очень медленно, в течение десятков тысяч лет, испуская α-лучи.

Удалось осуществить разделение изотопов в технических масштабах двумя способами — методом газовой диффузии и методом магнитного разделения. В методе диффузии используется различная скорость диффузии газов различного молекулярного веса через пористые перегородки; эта скорость пропорциональна корню квадратному из молекулярного веса. Применялся уран в виде соединения UF_6 (шестифтористый уран), обладающего упругостью паров в 1 атм. при 56°. Так как при диффузии через одну перегородку происходит лишь небольшое увеличение концентрации $U^{235}F_6$ по сравнению с $U^{238}F_6$, то необходимо применять большое число последовательных ступеней разделения — сотни перегородок. Для разделения значительных количеств урана поверхность пористых перегородок должна быть очень велика.

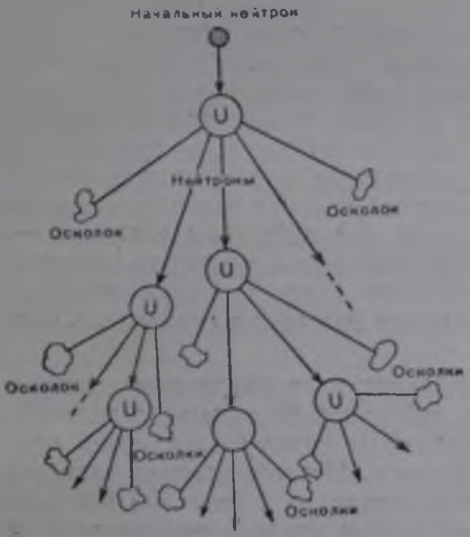


Рис. 168. Схема распада ядер урана

В методе магнитного разделения используется различное отклонение ионов различной массы в магнитном поле мощных магнитов. Главная трудность этого метода состоит в разделении пучков ионом очень больших интенсивностей, необходимых для того, чтобы можно было вести процесс в нужных масштабах. Для этой цели была применена специальная система магнитной фокусировки в приборе, названном калютроном. Для разделения изотопов обоими методами в Соединённых Штатах были построены крупнейшие заводы (в штате Теннесси, около города Окридж). Из общих затрат в 2 млрд. долларов на осуществление атомных бомб свыше 1 млрд. приходится на работы по разделению изотопов урана.

Однако, помимо получения в достаточных количествах изотопа U^{235}, казался осуществимым способ получения и другого вещества, ядра которого способны разлагаться цепным способом. Таким веществом является плутоний (Pu^{239}), получаемый из урана. Идея его получения состоит в следующем. При разложении ядер U^{235} в обычном уране освобождающиеся при делении нейтроны, захватываясь ядрами U^{238}, вызывают образование плутония. Часть нейтронов может пойти на разложение новых ядер U^{235}. Если бы удалось подобрать условия так, что из 2—3 нейтронов, получающихся при делении, один нейтрон шёл бы на деление нового ядра U^{235}, а остальные поглощались бы ядрами U^{238} с образованием плутония, то в результате шла бы саморазвивающаяся реакция разложения U^{235} и одновременно получался бы Pu^{239} (рис. 166). Главная трудность реализации подобных условий состояла в том, что быстрые нейтроны, получающиеся при делении урана, гораздо охотнее захватываются U^{238}, чем вызывают деление U^{235}. Однако известно, что U^{235} эффективнее всего делится под действием медленных нейтронов с энергиями в несколько сотых eV (нейтронов тепловых скоростей), тогда как ураном U^{238} захватываются более быстрые нейтроны определённых скоростей. Применяя в качестве замедлителя лёгкий элемент, можно затормозить нейтроны. Эффективнее всего был бы водород, ядра которого — протоны — имеют массу, примерно равную массе нейтрона. Однако протоны поглощают нейтроны, соединяясь с ними в ядра тяжёлого водорода — дейтоны, имеющие заряд $Z = 1$ и массу 2. Можно было бы применить для торможения тяжёлый водород, однако получение необходимого для этой цели исходного продукта — тяжёлой воды — само является сложной задачей[1]. Был применён в качестве замедлителя нейтронов углерод в виде графита. При этом оказалось рациональным не смешивать уран с замедлителем, а размещать куски урана в решётке из графита. В таких условиях быстрые нейтроны, проходя через толщу графита, замедляются до малых скоростей, при которых они лучше всего вызывают деление; вместе с тем теряя свою скорость в графите, при промежуточных скоростях они не поглощаются ядрами U^{238}, что имело бы место, если бы уран был бы просто смешан с графитом. При надлежащим образом рассчитанной решётке из графита с урановыми кусками оказалось возможным осуществить медленную саморазвивающуюся реакцию, осуществить урановый «котёл» для производства плутония.

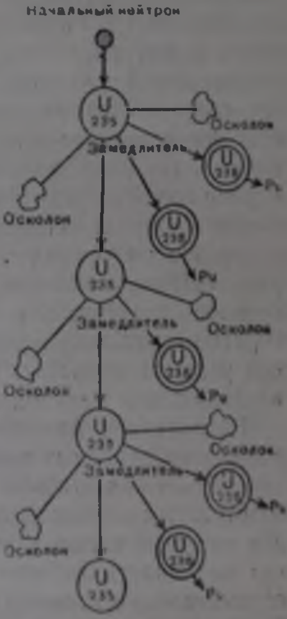


Рис. 169. Атомный котёл (схема устройства).

---

[1] Как известно, в Германии велись работы по атомным бомбам и было налажено в Норвегии производство тяжёлой воды. Видимо, немцы предполагали применить замедлитель нейтронов в самой бомбе. В американских работах замедлитель применялся лишь при получении плутония, а в бомбе реакция шла на быстрых нейтронах.

Реакция в подобном котле протекает в течение некоторого времени, а затем прекращается, вследствие того, что продукты реакции — осколки отделения U^{235} — тормозят её ход. Образовавшийся в результате реакции плутоний отделяется от урана химическим путём.

Для производства плутония по описанному способу в Соединённых Штатах был построен крупный завод в Хэнфорде на реке Колумбия. При реакции разложения U^{235} выделяется огромная энергия (200 *MeV* на делящееся ядро). Всего при производстве 1 *кг* плутония в день выделялось бы тепло, соответствующее мощности в 1 млн. *квт*. Данные о размерах производства плутония сохраняются американцами в секрете; приведённая цифра даёт представление о порядке величины выделяющейся тепловой энергии. На Хэнфордском заводе было применено мощное охлаждение водой из реки Колумбия. В принципе выделяющееся тепло можно было бы использовать, однако этого сделано не было ввиду большого количества образующихся при делении урана радиоактивных веществ, воду, служившую для охлаждения, приходилось отстаивать в специальных бассейнах, после чего она обратно спускалась в реку. Именно выделение тепла при описанной реакции открывает наиболее реальные перспективы мирного использования атомной энергии в ближайшем будущем.

Разделением изотопов урана и изготовлением плутония была разрешена проблема получения достаточных количеств вещества, способного разлагаться цепным образом[1]. К лету 1945 г. были изготовлены первые атомные бомбы. В июле 1945 г. был произведён опытный взрыв в штате Нью-Мексико, близ Лос-Анжелоса, где находилась лаборатория, работавшая по непосредственному осуществлению атомной бомбы. 6 и 8 августа две атомные бомбы были сброшены на японские города Хиросима и Нагасаки, где они произвели огромные разрушения. Их разрушительная сила соответствует 20 тыс. *т* тротила, т. е. энергии, выделяющейся при разложении примерно 1 *кг* U^{235} или Pu^{239}[2]. Вместе с тем следует отметить, что действие атомных бомб отличается от действия обычных бомб.

Помимо действия взрывной волны, имеется очень мощное излучение видимых и невидимых лучей большой уничтожающей силы, вызывающих многочисленные пожары. Воронки при этом не образовывалось, так как бомбы взрывались ещё в воздухе. Не наблюдалось также каких-либо заметных остаточных действий искусственных радиоактивных веществ, которые могли образоваться в момент взрыва; повидимому, эти вещества уносились потоками воздуха, поднимавшимися вверх после момента взрыва.

---

[1] Следует иметь в виду, что цепная реакция может идти лишь при достаточных количествах вещества в бомбе, так как при малом количестве вещества значительная доля нейтронов будет разлетаться в стороны, выскакивая из бомбы.

[2] Взрыв будет происходить лишь при количествах, превышающих некоторое критическое значение, и, повидимому, составляющих несколько килограммов U^{235} или Pu^{239}.

Первое применение атомной энергии вызвало огромный интерес во всём мире к вопросам её использования. Сейчас в капиталистических странах, и в первую очередь в Соединённых Штатах Америки, идёт борьба между силами демократии и силами реакции. Все передовые, прогрессивные силы считают необходимым запретить применение атомной энергии для военных целей, установить эффективный контроль над работами по атомной энергии, раскрыть секреты производства атомной энергии, широко развивать работы по использованию атомной энергии для мирных целей. Реакционные силы стремятся превратить атомную энергию в средство господства над всем миром, держать в секрете способы производства атомной энергии и использовать её исключительно для военных целей в империалистических интересах монополистического капитала. Для Советского Союза как социалистического государства задачей является использование атомной энергии в мирных целях, для всемерного развития производительных сил. Только в нашей стране, не знающей кризисов и не стоящей перед проблемой искусственного ограничения производства из-за отсутствия рынков сбыта, может быть действительно осуществлено использование огромных ресурсов энергии в интересах народа. Наш народ знает, что «будет у нас и атомная энергия и многое другое» (Молотов).

(*«Физика в школе»*, № 1, 1946 г.)

А. Китайгородский

АТОМ НА СЛУЖБЕ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

Чем глубже учёные проникают в тайну атомного ядра, чем успешнее они овладевают заложенными в нём колоссальными силами, тем очевиднее становятся для человечества те небывалые возможности, которые открывает использование атомной энергии в мирных целях. Освобождение могучей силы внутриядерной энергии раскрывает необъятные перспективы для расцвета промышленности, сельского хозяйства и транспорта, для совершенствования техники, для дальнейшего прогресса науки.

I

Не вполне точное название атомной энергии присвоено запасам энергии, заключённым в ядрах атомов. Запасы внутриядерной энергии безграничны. Любое вещество в принципе могло бы служить «ядерным» топливом. Килограмм ядерного горючего выделяет столько же тепла, сколько многие десятки вагонов с углем.

Однако факт выделения энергии веществом сам по себе ещё не означает, что данное вещество может служить горючим материалом. Уголь и нефть являются топливом не только потому, что химическая реакция этих веществ с кислородом даёт тепло, но и по той причине, что непрерывный подвод молекул кислорода к горючему обеспечен наличием кислорода в окружающей нас атмосфере. Ещё одним важным условием является то, что тепла, выделяющегося при горении одной молекулы, достаточно для того, чтобы поджечь соседние. Именно поэтому большая масса топлива может быть подожжена одной спичкой.

Создать аналогичную ситуацию для того, чтобы выделить энергию не из молекулы, а из атомного ядра, — задача нелёгкая. В соприкосновение нужно привести не молекулы и атомы, а атомные ядра. А как известно, «оголённых» ядер в сколько-нибудь значительных количествах в природе не существует.

Если бы удалось создать своеобразный «ядерный газ», в атмосферу которого можно было бы поместить выделяющее энергию тело, возникла бы ситуация, подобная положению угля в кислородной атмосфере. Долгое время эта задача казалась неразрешимой.

Однако в конце 30-х годов была открыта знаменитая цепная реакция с ураном. Уран оказался единственным в природе элементом, часть атомов которого обладает следующим замечательным свойством. При попадании в ядро урана нейтрона[1] происходит реакция деления, или расщепления, этого ядра. При этом выделяется огромное количество энергии и одновременно из ядра выбрасываются два-три нейтрона. Эти последние, в свою очередь, способны делить другие ядра. Через короткий промежуток времени в результате быстрого размножения нейтронов уран будет находиться в атмосфере пронизывающего его нейтронного «газа». Чем выше плотность этого «газа», тем больше энергии выделяется в единицу времени.

Создание нейтронного «газа» происходит в установках, получивших название ядерных реакторов, или котлов. Основными элементами котла, кроме горючего, являются замедлитель нейтронов, защита от радиоактиного излучения и механизм, управляющий нейтронной атмосферой.

Замедление нейтронов, выделяющихся при распаде, совершенно обязательно в котлах любой системы. Медленные нейтроны гораздо эффективнее быстрых в отношении процесса расщепления ядер. Особенно велика роль замедлителя в тех реакторах, в которых горючим служит природный уран. В качестве замедлителя используются в основном два вещества — графит и тяжёлая вода (вода, атомы водорода которой в два раза тяжелее атомов обычного водорода).

---

[1] Нейтрон — одна из элементарных частиц, из которых построен окружающий нас мир. В незначительном числе свободные нейтроны имеются в атмосфере. Нейтроны входят в состав всех атомных ядер.

За последнее десятилетие во всём мире развернулась большая работа по конструированию и изготовлению реакторов различной мощности. Интересно отметить, что удельная мощность работающих реакторов колеблется в широчайших пределах — от 0,002 киловатта на тонну горючего до 7 миллионов киловатт на тонну.

Ядерные реакторы могут работать на природном уране, на обогащённом топливе и даже на чистом ядерном горючем. Вполне понятно, что самыми маленькими по габаритам могут быть сделаны реакторы, работающие на чистом горючем. Линейные размеры реакторов (не считая защиты) могут колебаться от долей метра до десятков метров.

Особенность ядерного реактора, по сравнению с обычной тепловой машиной, заключается в принципиальной возможности довести мощность любого реактора до любого размера. Для этого нужно лишь увеличить плотность нейтронного «газа». Регулировать эту плотность, вообще говоря, нетрудно. Это достигается автоматическим вдвижением в реактор и выдвижением специальных стержней, поглощающих нейтроны. Несмотря на сказанное, увеличение мощности реактора связано с большими трудностями. Большая мощность, да ещё выделяющаяся в относительно небольшом объёме, требует исключительно быстрого отвода тепла. По подсчётам инженеров, при мощности порядка 100 тысяч киловатт придётся около четверти этой мощности тратить на работу насосов, прогоняющих через реактор охлаждающий поток.

Для того, чтобы на основе действующего реактора построить электростанцию, надо решить проблему отвода тепла. Дальнейшее использование тепла на ядерной электростанции не обладает какой-либо спецификой по сравнению с обычной тепловой электростанцией. В настоящее время наука разработала ряд путей для отвода тепла — при помощи воды, различных металлических сплавов, газов. Так же разрешаются и сложные проблемы техники безопасности, необходимой при производстве атомной энергии. К этому вопросу относятся средства для предотвращения действия на людей радиоактивного излучения, исходящего из реактора, а также средства для охраны от воздействия, которое могут оказывать продукты распада ядра.

2

Многие проблемы ещё ждут своего разрешения. Но, так или иначе, человечество уже располагает реальной возможностью поставить себе на службу новый мощный источник энергии. Несмотря на значительные трудности в переходе на атомную энергетику, можно смело предсказать, что к концу столетия использование ядерного горючего в значительной степени вытеснит употребление топлива для производства электрической энергии.

Возникает вопрос: а не будет ли использование ядерного горючего менее рентабельным, чем использование обычного топлива? Оправдывают ли себя значительные расходы на сооружение реактора? Попытаемся ответить на этот вопрос.

Стоимость киловатт-часа электрической энергии, произведённой с помощью ядерного реактора, складывается из капитальных затрат и эксплуатационных расходов. Стоимость самого горючего и стоимость его перевозки практически не скажется на цене киловатт-часа энергии. Цена урана, добытого из руды, меньше цены эквивалентного по энергии количества угля в 300—500 раз. Что же касается стоимости перевозок, то достаточно напомнить, что 1 килограмм ядерного горючего даёт столько же энергии, сколько эшелон угля. Исходя из сказанного, становится понятным, что большие капитальные и эксплуатационные расходы не сделают цену киловатт-часа энергии, произведённой на ядерной электростанции, более дорогой, чем она есть в настоящее время. Скорее, она будет дешевле.

Зато использование ядерной энергии даёт ряд огромных преимуществ. В частности, большие перспективы имеет строительство электростанций, работающих на ядерном горючем, если они должны быть расположены в местах, далёких от залежей угля и лишённых источников гидроэнергии. Далее, надо иметь в виду, что залежи угля и нефти уменьшаются с большой быстротой. По подсчётам геологов, этих запасов при современных темпах расходования должно хватить лишь на 200—400 лет. В то же время запасов урана и тория, которые могут быть использованы полностью в реакторах, хватит, во всяком случае, на десяток тысяч лет.

Принциальное значение для энергетики будущего имеет ещё и следующее обстоятельство. Теория показывает, что ядерные реакции в принципе могут быть организованы так, чтобы энергию давали все элементы. Покуда мы не знаем путей практического осуществления этой задачи. Но можно быть уверенным, что подобная задача будет рано или поздно решена.

Так или иначе использование ядерного топлива для производства электроэнергии может в огромной мере увеличить обеспеченность электрической энергией, столь необходимой в промышленности, в технике, в быту. Использование внутриядерных реакций для получения электрической энергии сбережёт высокоценное топливо, которое может стать сырьём для химической промышленности. Тем самым будет обеспечено резкое снижение стоимости энергии и расширена сфера её применения в районах, где нет дешёвого топлива.

Применение ядерных реакций для электроснабжения приведёт к снижению стоимости жилищ, одежды и продовольствия и к соответствующему повышению уровня жизни широких масс населения.

Заменят ли ядерные электростанции систему гидроцентралей? Видимо, не заменят. Дело в том, что в ряде случаев гидросооружения одновременно решают энергетические, транспортные и ирригационные задачи. Плотины гидростанций создают большие глубоководные магистрали на реках и водохранилищах, используемые также и для орошения. При таком комплексном использовании рек было бы нерационально отказаться от получения электроэнергии с помощью гидроэлектростанций.

Мирное применение атомной энергии может полностью избавить от энергетического голода все государства мира. На земном шаре есть страны со сравнительно обильными топливными и гидроэнергетическими ресурсами, но всё же недостаточными, чтобы полностью использовать источники сырья и занять работоспособное население. Но и в странах, богатых топливом и гидроэнергией, замена ураном топлива будет иметь огромное значение для народного хозяйства.

Развитие электрификации, связанное с использованием атомной энергии, с удешевлением и технической гибкостью электроснабжения, позволит гораздо последовательнее и глубже внедрить электричество в производство и прежде всего автоматизировать его, заменить физический труд работой автоматически управляемых машин. Электричество будет ещё глубже внедрено в промышленную технологию. Атомная энергия позволит расширить и удешевить также централизованное теплоснабжение заводов и жилищ.

Ядерные реакторы смогут преобразить облик целого ряда отраслей промышленности. Например, разработана схема использования реактора в производстве железа из руды. Имеются перспективы применения реакторов в металлургии и химической технологии. Несомненно, весьма перспективным и экономически выгодным является использование ядерных реакторов на больших судах. На таких судах обширные трюмы освободятся от топлива, и при этом суда получат возможность совершения длительных рейсов без захода в порты. Это даст огромный толчок также к развитию морских грузовых и пассажирских линий, облегчит во много раз экономические связи между самыми отдалёнными районами. В самом деле, морское судно грузоподъёмностью в несколько тысяч тонн израсходует за месячный рейс *запас ядерного горючего, помещающегося в папиросной коробке.*

3

Следующая важная область применения атомной энергии — использование продуктов деления, образущихся при распаде и очень дешёвых.

На одно из первых мест можно поставить возможность стерилизации пищевых продуктов в самых широких масштабах. Если производить стерилизацию искусственно или естественно упакованных продуктов (яйца, фрукты) гамма-лучами, то все бактерии будут убиты, а новые не смогут проникнуть через упаковку. Возникает возможность освободиться от рефрижераторов. Ещё одна важная область применения — это радиография. Можно с достаточной уверенностью сказать, что из области дефектоскопии рентгеновские аппараты рано или поздно будут вытеснены различными продуктами атомного распада.

Атомные установки могут производить из атомов одного сорта атомы другого сорта, то есть превращать не только молекулы (что делает химия), но и *превращать атомы.* Можно предвидеть возможность получения ценнейших дефицитных, вырабатываемых с колоссальными затратами элементов менделеевской таблицы из других элементов, широко распространённых на поверхности земли. Такая «атомная алхимия», которая позволит в будущем делать «всё из всего», вероятно, займёт важное место в промышленной технологии.

Практическая «атомная алхимия» — это завтрашний день науки. Однако уже сейчас колоссальный размах и значимость приобрела промышленность радиоизотопов. Любое вещество — будь то жидкость, кусок твёрдого тела или порошок — после пребывания в ядерном реакторе радиоактивизируется. Это значит, что некоторая доля атомов облучённого вещества производит радиоактивное излучение. Атомы вещества становятся «мечеными». Меченые атомы применяются во всех без исключения областях науки и техники. Агроном следит с их помощью за тем, как растение усваивает удобрения. Инженер может проверить, происходит ли стирание подшипника в двигателе. Технолог следит за течением реакции...

Нет сомнения, что в дальнейшем будут открыты куда более значительные возможности применения ядерной энергии, чем те, которые здесь перечислены. Ведь сейчас мы находимся лишь на заре мирного использования атома. Но некоторые из таких возможностей видны уже и сейчас. Не случайно оживился интерес к межпланетным сообщениям. Как известно, до недавнего времени наука не знала горючего, скорость истечения которого из сопла ракеты помогла бы воздушному кораблю справиться с силою земного притяжения. Исключительная концентрированность ядерного горючего может помочь преодолеть эту трудность.

Если только будут открыты способы осуществления термоядерной реакции или иные пути выделения ядерной энергии, кроме цепной реакции с нейтронами, то на повестку дня смело может быть поставлен вопрос о преобразовании лица Земли, об изменении климата. Исключительная концентрированность ядерного горючего допускает конструкцию непрерывно действующего пояса ядерных реакторов, установленных, скажем, в зоне вечной мерзлоты и выделяющих в сутки количества тепла, сравнимые с теми, что приносят на землю солнечные лучи. Практическая бесконечность запасов ядерной энергии поможет человеку будущего растопить льды океанов, обводнить пустыни.

Каким неверием в силы человеческого разума кажутся мрачные заключения некоторых зарубежных учёных о безнадёжном положении человечества через 100 лет! Эти учёные подсчитывают действительно скромные запасы химического топлива на земном шаре и делают отсюда вывод, что в 2100 году человеку нечем будет топить печи. Уже сейчас можно видеть неоправданность таких прогнозов. *Потенциально* безграничные запасы ядерной энергии станут через некоторое время и *практически* безграничными.

⁂

Мирное использование атомной энергии открывает небывалые возможности. Самые дерзкие мечты об изменении лица Земли, о завоевании человеком космических пространств могут стать реальностью на протяжении жизни ближайших поколений. Но для того, чтобы атомные возможности стали действительностью, необходимо прежде всего избавить человечество от угрозы использования атомной энергии в целях войны и разрушения. Необходимо направить энергию учёных-атомников целиком на разработку проектов мирного использования внутриядерных сил. Таким образом, для осуществления тех неизмеримо прекрасных перспектив, которые открывает человечеству современная наука, необходимы усилия не только научно-технические, но и политические. Политика и дипломатия в контакте с наукой должны добиться, чтобы атом был поставлен на службу мирным целям, чтобы народы действительно вступили в «атомный век» — век мирного процветания и прогресса.

Советская политика, как и наука в нашей стране, неустанно стремится к этой цели. Первая в мире электростанция, работающая на внутриядерной энергии, пущена в Советском Союзе. Её мощность — 5 тысяч киловатт, но в ближайшем будущем за ней последуют мощные электростанции на десятки и сотни тысяч киловатт.

Овладение тайной энергии атомного ядра принадлежит к одним из самых замечательных открытий в истории цивилизации. Как можно быстрее поставить это величайшее завоевание на службу мирным целям — прямая и неотложная задача всего миролюбивого человечества.

(*«Новое время»*. 1954, № 46.)

„...Диалектический материализм настаивает на приблизительном, относительном характере всякого научного положения о строении материи и свойствах ее, на отсутствии абсолютных граней в природе, на превращении движущейся материи из одного состояния в другое, повидимому, с нашей точки зрения, непримиримое с ним и т. д.“

(Ленин, Соч., т. XIII, стр. 214.)

„...Нет в мире непознаваемых вещей, а есть только вещи, ещё непознанные, которые будут раскрыты и познаны силами науки и практики.“

(Сталин, Вопросы ленинизма, 1939, стр. 543.)

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие к 1-му изданию 3
Предисловие ко 2-му изданию 4
Академик *Н. Зеленский*. Овладевайте знаниями. (обращение к молодёжи) 5

Глава I. **У истоков химии**

Химия у культурных народов древности *(К. Я. Парменов)* . . 8
Первые шаги химии *(Н. А. Морозов)* 19
Алхимия *(К. Я. Парменов)* 24
Период медицинской химии. Парацельс *(М. Усанович)* 40
Теория флогистона *(Л. А. Чугаев)* 46
Крушение алхимии. Роберт Бойль *(В. Рамзай)* 50

Глава II. **Строение и превращение веществ**

Учение Демокрита об атомах *(фрагменты)* 56
О природе вещей *(Тит Лукреций Кар)* 57
Слово о пользе химии *(М. В. Ломоносов)* 61
Проект о учреждении химической лаборатории *(М. В. Ломоносов)* 66
Великий русский химик М. В. Ломоносов *(С. А. Балезин)* . . . 68
Диффузия *(К. А. Тимирязев)* 93
Джон Дальтон и его учение об атомах *(Л. М. Сморгонский)* . . 96
Молекулярное строение веществ *(Я. Л. Гольдфарб)* 103
Условия хода реакции *(Д. И. Менделеев)* 108
Превращение энергии в химических процессах *(К. М. Малин)* . 113

Глава III. **Вода. Водород**

Вода в жизни человека *(Ю. Н. Ловягин)* 119
История открытия водорода *(Ю. В. Ходаков)* 137

Глава IV. **Кислород. Воздух**

Пристли находит газ, поддерживающий жизнь *(Б. Яффе)* . . . 143
А. Л. Лавуазье *(Б. Н. Меншуткин)* 152
Анализ атмосферного воздуха *(А. Л. Лавуазье)* 159
Опыты над дыханием животных *(А. Л. Лавуазье)* 163
Как горит свеча *(М. Фарадей)* 167
Горение в чистом кислороде *(М. М. Усанович)* 173
Дьюаров сосуд *(Дж. Дьюар)* 174
Свойства жидкого воздуха *(О. А. Ривош)* 175

Глава V. **Галогены**

О соли и солях *(А. Е. Ферсман)* 179
Поваренная соль *(М. Кучеров)* 181
«Соляный спирт» и «оксимуриевая кислота» *(В. С. Горшешников)* 189
Йод вездесущий *(А. Е. Ферсман)* 195
Как был открыт йод и откуда он добывается *(А. Сиротин)* . . 200
История открытия брома *(К. Я. Парменов)* 206
История открытия фтора *(К. Я. Парменов)* 210
Химия фтора *(Н. В. Надененко)* 213

Стр.

Глава VI. Сера

Сера в Кара-Кумах *(М. Зуев-Ордынец)* . . . 218
Борьба за источники серы *(Д. Тимм)* . . . 227
Сероводород *(Джефри Мартин)* . . . 231
Сернистый газ из вулканов *(Плиний Младший)* . . . 233
Кара-Богаз-Гол *(В. С. Горшешников)* . . . 235
Серная кислота *(Д. М. Либов)* . . . 242
Контактный способ получения серной кислоты *(Д. А. Эпштейн)* . 248

Глава VII. Азот, фосфор, мышьяк

«Мёртвый» газ и жизнь *(К. Я. Парменов)* . . . 253
Круговорот азота в природе *(С. Н. Виноградский)* . . . 261
Аммиак в Березниках *(К. Г. Паустовский)* . . . 271
История открытия фосфора *(К. Я. Парменов)* . . . 276
Добывание огня *(В. Н. Верховский)* . . . 280
Апатит и нефелин *(А. Е. Ферсман)* . . . 291
Мышьяк *(В. С. Горшешников)* . . . 295
Природные богатства — на службу народу *(М. А. Свешников)* . 301

Глава VIII. Углерод и кремний

Товий Егорович Ловиц *(И. Б. Борисов)* . . . 306
История изобретения противогаза Н. Д. Зелинским *(Н. А. Фигуровский)* . . . 310
Открытие углекислого газа *(В. Рамзай)* . . . 316
«Сухой лёд» *(Е. Д. Рогов)* . . . 319
Чем мы греемся зимой? *(Н. Н. Бекетов)* . . . 323
Круговорот углерода в природе *(К. Я. Парменов)* . . . 326
Победа над рудничным газом *(Б. Могилевский)* . . . 331
Культурная ценность кремниевой кислоты *(Сванте Аррениус)* . 333
Дмитрий Иванович Виноградов *(М. А. Безбородов* . . . 339
«Письмо о пользе стекла» *(М. В. Ломоносов)* . . . 346
Русское стекло *(М. Свешников)* . . . 350
Выработка изделий из стекла *(Б. А. Копылов и А. Я. Авербух)* . 354

Глава IX. Периодическая система элементов

Жизнь и творчество Менделеева *(Ю. В. Ходаков)* . . . 361
Воспоминания о Д. И. Менделееве *(В. Е. Тищенко)* . . . 378
Открытие периодического закона *(Д. И. Менделеев)* . . . 390
Предсказания элементов *(Д. И. Менделеев)* . . . 394
Периодический закон и открытие инертных газов *(Виллиам Рамзай)* . . . 398
Опыт системы элементов *(Д. И. Менделеев)* . . . 402

Глава X. Радиоактивность и строение атома

Мария Склодовская-Кюри *(Б. Яффе)* . . . 405
Открытие радия *(М. Кюри)* . . . 418
Опыты с радием *(Ф. Содди)* . . . 423
Счёт альфа-частиц *(Ф. Содди)* . . . 425
Эманация радия *(Ф. Содди)* . . . 429
Строение атома *(У. Брэгг)* . . . 437
Строение молекул *(А. И. Китайгородский и В. А. Мезенцев)* . . 447
Что такое химический элемент *(Б. Меншуткин)* . . . 451
Искусственная радиоактивность *(М. И. Корсунский)* . . . 455
«ЗОЭ» *(Б. Г. Кузнецов)* . . . 460
Деление тяжёлых ядер и использование атомной энергии *(М. А. Ельяшевич)* . . . 462
Атом на службе человечества *(А. Китайгородский)* . . . 471

Школьные учебники СССР

SHEBA.SPB.RU/SHKOLA